

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**  
**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**  
**CON ESPECIALIZACIÓN EN MANEJO DE SUELOS Y AGUAS**

**EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO Y NUTRIENTES POR EROSIÓN**  
**HÍDRICA EN EL CULTIVO DE PIÑA EN LA CHORRERA, PANAMÁ OESTE**

**POR:**  
**JOSÉ ISAAC MEJÍA GUTIÉRREZ**  
**CIP: 8-714-1376**

**PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2018**

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ**  
**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**  
**CON ESPECIALIZACIÓN EN MANEJO DE SUELOS Y AGUAS**

**EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO Y NUTRIENTES POR EROSIÓN**  
**HÍDRICA EN EL CULTIVO DE PIÑA EN LA CHORRERA, PANAMÁ OESTE**

**POR:**

**JOSÉ ISAAC MEJÍA GUTIÉRREZ**  
**CIP: 8-714-1376**

**TESIS PRESENTADA COMO UNO DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL**  
**GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIZACIÓN EN MANEJO**  
**DE SUELOS Y AGUAS**

**PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ**

**2018**

**EVALUACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO Y NUTRIENTES POR EROSIÓN  
HÍDRICA EN EL CULTIVO DE PIÑA EN LA CHORRERA, PANAMÁ OESTE**

**TESIS**

**Sometida para obtener el título de Maestro en Ciencias con  
Especialización en Manejo de Suelos y Aguas**

**VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO**

**Permiso para su publicación y reproducción total y parcial, debe ser  
obtenido en la Vicerrectoría de Investigación y Postgrado.**

**APROBADO**

\_\_\_\_\_ **Asesor**

\_\_\_\_\_ **Jurado**

\_\_\_\_\_ **Jurado**

## **DEDICATORIA**

Dedico éste trabajo de graduación con todo mi corazón a mi madre, Micaela Gutiérrez y con mucho cariño a mi abuelo Pablo Gutiérrez, quienes me ayudaron a salir adelante en los momentos más difíciles.

A mis hermanas Carolina y Mónica, a mis sobrinos, familiares y amigos por su apoyo brindado en mis estudios.

A mi amiga Mabel Vázquez, por inculcarme que para manejar los suelos primero, hay que conocerlos.

Y por último, a mi padre José de la Cruz Mejía y abuela Mariana Trejos que hoy no pueden compartir este gran logro en mi vida, pero siempre estarán en mi corazón.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco, primeramente a Dios Todopoderoso por darme vida, salud y permitirme superarme en mi vida profesional.

Al Dr. Carlos Him González, por su valioso aporte como asesor principal y revisor del trabajo de investigación.

Al colega, Ing. David Urriola, gran compañero de trabajo que brindo todos sus conocimientos y equipos de medición de pérdida de suelo, de forma incondicional para la realización de esta investigación.

Al colega, Ing. Arturo Batista; además a los estudiantes tesisistas: Edwin Valdés, Germán de la Cruz y Omaira Batista, por todo el apoyo en la fase experimental de este estudio.

A todo el personal y analistas de los Laboratorios de Suelos y Nutrición de la Facultad de Ciencias Agropecuarias en Panamá, Los Santos y del IDIAP en Divisa; por su participación en la ejecución de este trabajo.

A todos mis compañeros de la maestría, por su apoyo moral y muestras de solidaridad durante los estudios.

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>SUMMARY</b> .....	2
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>OBJETIVOS</b> .....	6
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	7
1. Definición de los Ultisoles .....	7
2. Génesis de los Ultisoles .....	7
3. Distribución de los Ultisoles en Panamá .....	8
4. Taxonomía de Suelos .....	9
5. Caracterización general de los suelos del área.....	10
6. Propiedades físicas del suelo.....	10
(a). Textura del suelo.....	11
(b). Estructura.....	11
(c). Color .....	12
(d). Densidad aparente.....	12
(e). Densidad real .....	13
(f). Porosidad .....	13
(g). Estabilidad de los agregados.....	14
(h). Infiltración .....	14
(i). Profundidad efectiva .....	15
7. Propiedades químicas del suelo .....	15
(a). pH .....	16
(b). Conductividad eléctrica .....	16
8. Macronutrientes .....	17

(a).	Materia Orgánica .....	17
(b).	Nitrógeno .....	18
(c).	Fósforo .....	18
(d).	Potasio .....	19
(e).	Calcio .....	20
(f).	Magnesio .....	20
9.	Micronutrientes .....	21
(a).	Hierro .....	21
(b).	Manganeso .....	22
(c).	Cobre .....	22
(d).	Zinc .....	23
(e).	Sodio .....	23
10.	Saturación de Aluminio .....	24
11.	Capacidad de Intercambio Catiónico .....	24
12.	Degradación de los suelos .....	25
13.	Erosión hídrica .....	25
14.	Erosión hídrica y cambio climático .....	26
15.	Mecánica de la erosión hídrica .....	28
16.	Efectos intrínsecos y extrínsecos de la erosión hídrica .....	28
17.	Factores específicos asociados a la erosión hídrica .....	29
18.	Límite de pérdidas tolerables de suelo “T” .....	29
(a).	Tolerancia de pérdidas de suelo en regiones tropicales .....	30
(b).	Umbral de tolerancia para la pérdida de suelo .....	31
19.	Erosión hídrica en Panamá .....	31
20.	Erosión hídrica en sistemas de producción convencional de piña .....	35
21.	Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo .....	36
22.	Precipitación y erosividad de las lluvias .....	38
(a).	Erosividad de las lluvias .....	38
23.	El cultivo de piña .....	40
24.	Etapas fenológicas del cultivo de piña .....	40

(a).	Desarrollo vegetativo.....	40
(b).	Inducción floral.....	40
(c).	Floración .....	41
(d).	Fructificación y cosecha .....	41
(e).	Vivero .....	41
25.	Suelo y preparación del terreno para el cultivo de piña .....	41
26.	Uso de barreras vivas como prácticas conservacionistas .....	41
(a).	Vetiver .....	43
(b).	Hierba limón .....	43
27.	Pérdida de macronutrientes .....	44
28.	Pérdida de micronutrientes.....	45
29.	Complejos de superficie .....	46
(a).	Complejos de esfera interna.....	47
(b).	Complejos de esfera externa.....	47
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>		<b>48</b>
1.	Ubicación del área de estudio .....	48
2.	Caracterización de la zona de estudio .....	49
(a).	Clima.....	49
(b).	Geología.....	49
(c).	Geomorfología.....	50
(d).	Capacidad Agrológica .....	50
(e).	Cobertura boscosa y uso de la tierra .....	51
(f).	Hidrología .....	51
(g).	Hidrogeología .....	52
3.	Caracterización del perfil y muestras de suelo.....	53
(a).	Caracterización del perfil de suelo .....	53
(b).	Erosión sufrida.....	53
(c).	Historia de uso del suelo.....	53
(d).	Pendiente y aspectos topográficos del predio .....	53
(e).	Localización del lote y de las áreas de muestreo .....	54



(f).	Ubicación de áreas ecológicamente sensibles .....	54
4.	Métodos analíticos y cálculos para las propiedades físicas del suelo .....	54
(a).	Preparación de las muestras.....	54
(b).	Color .....	54
(c).	Textura.....	54
(d).	Densidad Aparente.....	55
(e).	Densidad real .....	55
(f).	Porosidad .....	56
(g).	Velocidad de Infiltración .....	56
(h).	Estabilidad de los agregados.....	58
5.	Métodos analíticos y cálculos para propiedades químicas del suelo .....	58
(a).	pH .....	58
(b).	Carbono Orgánico Total .....	58
(c).	Nitrógeno mineralizado .....	59
(d).	Fósforo disponible .....	59
(e).	Potasio, Sodio, Hierro, Cobre, Manganeseo y Zinc .....	60
(f).	Calcio y Magnesio .....	60
(g).	Hidrógeno y Aluminio.....	60
(h).	Salinidad del suelo.....	61
(i).	Capacidad de Intercambio Catiónica Efectiva.....	61
6.	Preparación del terreno y manejo agronómico de los materiales vegetativos .....	61
(a).	Preparación del terreno .....	61
(b).	Siembra de la semilla de piña .....	62
(c).	Siembra de las barreras vivas .....	63
(d).	Aplicación de fertilizantes .....	64
(e).	Control de malezas .....	65
(f).	Control de plagas .....	66
7.	Caracterización de la lluvia.....	66
(a).	Registro de la lluvia en el sitio del experimento.....	66
(b).	Registro de la intensidad de las lluvias.....	67

8.	Cálculo del factor de erosividad de las lluvias.....	68
(a).	Intensidad de las lluvias.....	68
(b).	Precipitación acumulada.....	68
(c).	Tiempo acumulado .....	69
(d).	Intensidad promedio de la lluvia.....	69
(e).	Energía cinética .....	69
(f).	Erosividad mensual de las lluvias.....	70
(g).	Factor de erosividad anual de la lluvia .....	70
9.	Cálculo de pérdida de suelos.....	71
(a).	Volumen de escorrentía en el tanque.....	73
(b).	Peso de suelo seco .....	74
(c).	Concentración de suelo.....	74
(d).	Cantidad de suelo perdido .....	75
(e).	Efectividad de control de suelo.....	75
10.	Cálculo de pérdida de nutrientes por erosión hídrica.....	75
(a).	Cantidad de Carbono Orgánico Total .....	76
(b).	Nitrógeno total .....	77
(c).	Nitrógeno asimilable.....	77
(d).	Cantidad de nitrógeno asimilable .....	78
(e).	Cantidad de nutriente (P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn).....	78
11.	Diseño experimental.....	78
12.	Tratamientos utilizados .....	79
13.	Características de las unidades experimentales.....	79
14.	Análisis estadístico.....	80
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>81</b>
1.	Descripción del perfil de suelo.....	81
2.	Propiedades químicas del perfil de suelo.....	84
(a).	pH .....	85
(b).	Materia orgánica .....	85
(c).	Fósforo.....	85

(d).	Potasio .....	86
(e).	Calcio .....	86
(f).	Magnesio.....	86
(g).	Aluminio .....	87
(h).	Hierro .....	87
(i).	Cobre.....	88
(j).	Manganeso .....	88
(k).	Zinc .....	88
(l).	Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva .....	89
(m).	Saturación de bases .....	89
(n).	Saturación de aluminio .....	90
(o).	Conductividad eléctrica .....	90
3.	Propiedades físicas del perfil del suelo .....	90
(a).	Textura.....	91
(b).	Densidad aparente.....	91
(c).	Densidad real .....	91
(d).	Porosidad .....	92
(e).	Velocidad de infiltración .....	92
(f).	Estabilidad de los agregados.....	95
(g).	Perfiles topográficos de los tratamientos.....	95
(h).	Capacidad Agrológica .....	96
4.	Descripción de la lluvia acumulada .....	97
5.	Erosividad de las lluvias .....	99
6.	Pérdida de suelo por erosión hídrica .....	100
7.	Escorrentía .....	102
8.	Efectividad en el control de la erosión y escorrentía .....	103
9.	Pérdida de Carbono Orgánico Total y macronutrientes por erosión hídrica.....	105
(a).	Carbono Orgánico Total .....	106
(b).	Nitrógeno mineralizado .....	107
(c).	Fósforo .....	108

(d).	Potasio .....	108
(e).	Calcio .....	109
(f).	Magnesio.....	110
10.	Pérdida de micronutrientes por erosión hídrica.....	110
(a).	Hierro .....	112
(b).	Cobre.....	112
(c).	Manganeso.....	113
(d).	Zinc .....	113
<b>CONCLUSIONES</b> .....		115
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		118
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....		119

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Erosión hídrica para América Central y Panamá con prácticas de conservación de suelos. 1993.....	32
Cuadro 2. Erosión hídrica para América Central y Panamá sin prácticas de conservación de suelos. 1993.....	33
Cuadro 3. Estimación de la escorrentía, erosión potencial y real en la Cuenca del Canal de Panamá. ....	35
Cuadro 4. Pérdida de suelo por erosión hídrica a nivel mundial en sistemas de producción comercial de piña, según pendiente y metodología. ....	36
Cuadro 5. Clasificación del factor de erosividad de la lluvia (R). ....	39
Cuadro 6. Fertilizantes granulados y foliares aplicados en el cultivo de piña. ....	65
Cuadro 7. Descripción del perfil del suelo en Las Yayas Afuera. ....	83
Cuadro 8. Propiedades químicas del perfil de suelo en el sitio del experimento.....	84
Cuadro 9. Propiedades físicas del perfil de suelo en el sitio del experimento.....	90
Cuadro 10. Capacidad agrológica del suelo en el sitio del experimento. ....	97
Cuadro 11. Valores medios mensuales calculados de Precipitación, Intensidad, Energía Cinética, Erosividad Mensual y Anual para los años 2016 y 2017 en Las Zanguengas...	99
Cuadro 12. Análisis de la varianza para la variable pérdida de suelo por erosión hídrica. ....	100
Cuadro 13. Análisis de varianza para la variable escorrentía. ....	103

Cuadro 14. Porcentaje de efectividad del uso de barreras vivas en el cultivo de piña para el control de la erosión y escorrentía. ....	104
Cuadro 15. Pérdida de Carbono Orgánico Total y macronutrientes por erosión hídrica en el cultivo de piña. ....	105
Cuadro 16. Grados de libertad y cuadrados medios del análisis de varianza para el Carbono Orgánico Total y macronutrientes erosionados. ....	105
Cuadro 17. Pérdida de micronutrientes por erosión hídrica en el cultivo de piña. ....	111
Cuadro 18. Grados de libertad y cuadrados medios del analisis de varianza para micronutrientes erosionados. ....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de zonificación agroecológica para el cultivo de piña (MIDA 2008). ....	48
Figura 2. Fases de preparación del terreno en el sitio del experimento. ....	62
Figura 3. Estación pluviométrica y pluviómetro estándar utilizados en el experimento. .	67
Figura 4. Procedimiento para evaluar la pérdida de suelo por erosión hídrica. ....	72
Figura 5. Tratamientos evaluados en el sitio del experimento. ....	80
Figura 6. Perfil de suelo con horizontes morfogenéticos y de diagnóstico en el sitio del experimento. ....	82
Figura 7. Gráficas de Infiltración Instantánea e Infiltración Básica para los horizontes Ap y Bt <sub>1</sub> en el sitio del experimento en Las Yayas Afuera. ....	92
Figura 8. Curvas de Infiltración Acumuladas e Infiltración Promedio para los horizontes Ap y Bt <sub>1</sub> en el sitio del experimento en Las Yayas Afuera. ....	94
Figura 9. Perfiles topográficos con distancia y alturas en metros para cada tratamiento del experimento. ....	96
Figura 10. Registro de la lluvia acumulada en el sitio del experimento para los años 2016 y 2017. ....	98
Figura 11. Pérdida de suelo por erosión hídrica para cada tratamiento evaluado en el cultivo de piña MD-2. ....	100
Figura 12. Lámina de escorrentía para cada tratamiento evaluado en el cultivo de piña MD-2. ....	102

## ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ACP	Autoridad del Canal de Panamá
ADN	Ácido desoxirribonucleico
AED	Academy for Educational Development
AIA	Ácido indolacético
Ap	Horizonte mineral arado u otro disturbio artificial
ARN	Ácido Ribonucleico
ATP	Trifosfato de Adenosina
bh-T	Bosque Húmedo Tropical
Bo	Horizonte óxico
Bt	Horizonte textural de acumulación iluvial de arcilla silicatada
°C	Grados Celsius
C3	Moléculas de tres carbonos
C4	Moléculas de cuatro carbonos
CAM	Metabolismo ácido de las crasuláceas
CATAPAN	Catastro Rural de Tierras y Aguas en Panamá
Ce	Conductividad eléctrica
CEPAL	Comisión Económica para América Latina
CIAT	Centro Investigaciones de Agricultura Tropical
CICH	Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica
CIMMYT	Centro Internacional de mejoramiento del maíz y trigo
cm	Centímetro



cm <sup>3</sup>	Centímetro cúbico
COT	Carbono orgánico total
Da	Densidad aparente
DMS	Diferencia mínima significativa
Dp	Densidad real
dS	DeciSiemens
Ea	Estabilidad de los agregados
Ed	Editor
EI <sub>30</sub>	Erosividad total de la lluvia
ENOS	Niño Oscilación del Sur
<i>et al.</i>	Y otros
ETESA	Empresa de transmisión eléctrica S.A.
EUPS	Ecuación Universal para la pérdida de suelo
FOB	Free on board
g	Gramos
GLADA	Degradación global de las tierras
GPS	Sistema de Geoposicionamiento Satelital
h	Hora
ha	Hectáreas
hab	Habitantes
Hp	Caballos de fuerza
Ib	Infiltración básica
I cum	Infiltración acumulada
I inst	Infiltración instantánea

I p	Infiltración promedio
IDIAP	Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censo
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
I <sub>30</sub>	Intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
km <sup>2</sup>	kilómetros cuadrado
L	Litro
m	Metro
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
mg	Miligramo
MIDA	Ministerio de Desarrollo Agropecuario
min	Minuto
μS cm <sup>-1</sup>	MicroSiemens
MJ	Megajoules
ml	Mililitro
mm	Milímetro
M.O.	Materia Orgánica
ms.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
nro	Número
ns	No significativo
p	Página
p: v	Relación peso volumen

pH	Potencial de hidrogeniones
PIB	Producto Interno Bruto
ppm	Partes por millón
ppt	Lluvia
PSI	Libras pulgadas cuadradas
PVC	Policloruro de vinilo
r	Radio
$r^2$	Radio al cuadrado
$R^2$	Coefficiente de correlación de Pearson
SDR	Relación de dimensión estándar
t	Toneladas
UP	Universidad de Panamá
USD	Dólar
USDA	United States Department of Agriculture
USLE	Universal Soil Loss Equation
UTM	Universal Transversal de Mercator
WRB	World Reference Base of Soil Resources
$\pi$	Número pi
%	Por ciento
<	Menor que
>	Mayor que

## RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la pérdida de suelo y nutrientes en el cultivo de piña (*Ananas comosus*) por erosión hídrica, usando barreras vivas como medidas de conservación de suelos, se realizó un experimento entre julio del 2016 y agosto del 2017, en un sistema de producción comercial de piña, en la comunidad de Las Yayas; distrito de La Chorrera; provincia de Panamá Oeste. El ensayo incluyó cuatro tratamientos con cuatro repeticiones: piña con hierba limón (*Cymbopogon citratus*), piña con vetiver (*Vetiveria zizanioides*), piña con siembra convencional y un suelo desnudo. Se instalaron parcelas experimentales de escorrentía, bajo un diseño completo al azar, con pendiente promedio de 10 %; 11 m de largo y 1.80 m de ancho. Las variables que se evaluaron son la pérdida de suelo y nutrientes como COT, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn. Se utilizaron colectores de sedimento y escorrentía, ubicados en la parte inferior de la parcela para estimar la pérdida de suelo. En el análisis de COT, se utilizó el método Walkley-Black y; para los nutrientes, soluciones extractoras de Mehlich-1 y KCl. Luego hubo determinaciones con los métodos de colorimetría y espectrofotometría de absorción atómica. La pérdida total de fertilidad se calculó relacionado las tasas de erosión con la concentración de nutrientes en los sedimentos. Según el sistema de clasificación americana, el perfil de suelo estudiado es un Ultisol Haplohumult típico. En relación a la pérdida de suelo y nutrientes, el análisis de varianza mostró que hubo diferencias significativas en los tratamientos evaluados, siendo significativamente mayor en la parcela de suelo desnudo y siembra convencional; mientras que en las parcelas con el uso de barreras vivas de vetiver y hierba limón, la pérdidas fueron significativamente menores. La mayor tasa de erosión fluctuó entre 200.08 t ha<sup>-1</sup> en suelo desnudo y 13.72 t ha<sup>-1</sup> bajo siembra convencional, superando el umbral de tolerancia de pérdida de suelos establecido en 11 t ha<sup>-1</sup> año. En las parcelas donde se implementó el uso de las barreras vivas de hierba limón y vetiver, el impacto de la erosión hídrica fue menor con 4.28 y 4.44 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El efecto de conservación de la fertilidad del suelo por las barreras vivas fue más efectiva en el vetiver con pérdidas de macronutrientes estimadas para el COT con 150.32 kg ha<sup>-1</sup>, N con 0.19 kg ha<sup>-1</sup>, P con 0.46 kg ha<sup>-1</sup>, K con 0.64 kg ha<sup>-1</sup>, Ca con 8.49 kg ha<sup>-1</sup> y Mg con 8.12 kg ha<sup>-1</sup>. Además, las pérdidas de micronutrientes fueron menores con 0.37 kg ha<sup>-1</sup> para Fe, 0.03 kg ha<sup>-1</sup> para Cu, 0.48 kg ha<sup>-1</sup> para Mn y 3.21 kg ha<sup>-1</sup> para el Zn. Los valores encontrados ponen de manifiesto la magnitud de la degradación de los suelos generados por las prácticas de preparación del terreno y manejo del cultivo de piña en esta región. Por lo tanto, establecer este cultivo con el uso de estas barreras vivas, representa una alternativa conservacionista para reducir la pérdida de suelo y nutrientes por erosión hídrica.

Palabras claves: piña, barreras vivas, erosión hídrica, pérdida de nutrientes

## SUMMARY

In order to evaluate the soil and nutrients loss by water erosion in a pineapple crop (*Ananas comosus*) by water erosion, using live barriers as soil conservation practices, an experiment was conducted between July 2016 and August of 2017. The experiment was conducted in a pineapple commercial production system, in the community of Las Yayas, district of La Chorrera; province of Western Panama. The trial included four treatments with four repetitions: pineapple with lemon grass (*Cymbopogon citratus*), pineapple with vetiver (*Vetiveria zizanioides*), pineapple with conventional sowing and a bare soil. Experimental runoff plots were installed under a complete random design, with average slope of 10 %; 11 m long and 1.80 m wide. The variables that were evaluated are related to the loss of soil and nutrients such as TOC, N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn and Zn. Sediment and runoff collectors were used, located in the lower part of the plot to estimate the loss of soil. For the analysis of the TOC, the Walkley-Black method was used and for the nutrients, Mehlich-1 and KCl extracting solutions, then determinations with the methods of colorimetry and atomic absorption spectrophotometry. The total loss of soil fertility was calculated from the erosion rates and the concentration of the nutrients in the sediments. According to the American classification system, the soil profile studied is a Typic Haplohumults. The soil and nutrients loss were analyzed using the analysis of variance and showed a significant difference among the treatments. Significantly higher losses resulted on the bare soil and conventional sowing plots, while in the plots with the use of live vetiver and lemon grass barriers the losses were lower. The highest erosion rate fluctuated between 200.08 t ha<sup>-1</sup> in bare soil and 13.72 t ha<sup>-1</sup> under conventional sowing, exceeding the tolerance threshold “T value” for soil loss established in 11 t ha<sup>-1</sup> year. In Plots with live barriers of lemon grass and vetiver, the impact of water erosion was lower with 4.28 and 4.44 t ha<sup>-1</sup>, respectively. The effect of conservation of soil fertility by live barriers was more effective in vetiver with losses of macronutrients estimated for the TOC with 150.32 kg ha<sup>-1</sup>, N with 0.19 kg ha<sup>-1</sup>, P with 0.46 kg ha<sup>-1</sup>, K with 0.64 kg ha<sup>-1</sup>, Ca with 8.49 kg ha<sup>-1</sup> and Mg with 8.12 kg ha<sup>-1</sup>. In addition, micronutrient losses were lower with 0.37 kg ha<sup>-1</sup> for Fe, 0.03 kg ha<sup>-1</sup> for Cu, 0.48 kg ha<sup>-1</sup> for Mn and 3.21 kg ha<sup>-1</sup> for Zn. The values found reveal the magnitude of the degradation of the soils generated by the practices of land preparation and management of the pineapple crop in this region. Therefore, establishing this crop with the use of these living barriers represents a conservationist alternative to reduce the loss of soil and nutrients due to water erosion.

Keywords: pineapple, living barriers, water erosion, loss of nutrients.

## INTRODUCCIÓN

Panamá no escapa a la realidad que conllevan los procesos de erosión hídrica y, el impacto más serio que tenemos es el acumulativo y creciente proceso de degradación en una superficie de dos millones de hectáreas que producen pérdidas económicas equivalentes al 0.9 por ciento del Producto Interno Bruto (CEPAL 2008, Morales 2012). Este proceso de degradación se manifiesta de manera perceptible con la remoción del suelo de un lugar, transporte y sedimentación posterior en otro y, de manera imperceptible, con la pérdida de fertilidad y capacidad de sostener una agricultura productiva.

Los Ultisoles son los suelos más degradados que cubren aproximadamente el 40 por ciento del territorio nacional. Se caracterizan por ubicarse en zonas con alta pluviosidad, generalmente ácidos, con horizontes argílicos iluviados, baja Capacidad de Intercambio Cationico y un avanzado estado de meteorización. En la actualidad, en estos suelos se desarrolla mayormente la producción de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.), ya que es comúnmente aceptado que el cultivo este bien adaptado a estas condiciones edáficas (Malézieux y Bartholomew 2003, Silva *et al.* 2006, Medina *et al.* 2009).

En efecto, la erosión hídrica es severa en las plantaciones comerciales de piña en el distrito de La Chorrera, con un área de 1,265 hectáreas, pendientes promedio de 15 por ciento, un total 135 productores y un rendimiento promedio de 77 toneladas de fruta fresca por hectáreas (MIDA 2015). Esta actividad se complementa con la generación aproximada de 230 jornales por hectárea año (Espinoza *et al.* 2001). Para el 2017, el rubro de piña fresca obtuvo un Valor FOB de 3,120 (por USD 1000) que corresponde al dos por ciento

de las exportaciones (INEC 2018). Las expectativas son positivas y esperan que el incremento en los negocios de exportación hacia Europa, Estados Unidos, Asia y a otros mercados emergentes se mantengan y superen los pronósticos. Por esta razón se hace necesario la implementación de programas que promuevan el manejo sostenible del suelo como recurso indispensable para el desarrollo de la actividad piñera, aumenten la productividad y la rentabilidad de este cultivo; pero a su vez, que causen el menor impacto en la calidad del agua (AED 2004a).

En condiciones naturales, la erosión hídrica es un problema ambiental que afecta las propiedades del suelo, y es la causa más grave y frecuente de degradación en las regiones tropicales, donde se producen eventos de precipitación con alto poder erosivo. Además, el transporte de los sedimentos generados por la erosión hídrica contribuyen a la colmatación de embalses, contaminación de las aguas superficiales y perjuicios en obras hidráulicas agua abajo (Carvalho 2008). Sin embargo, la magnitud del avance de estos procesos requiere de técnicos especialistas y metodologías necesarias para evaluar y reducir la erosión hídrica frente al cambio climático global.

Este problema requiere tal relevancia, ya que la pérdida de suelo y la consecuente pérdida de materia orgánica y nutrientes por erosión hídrica tienen efectos que van desde la pérdida de la fertilidad del suelo y reducción de la productividad, hasta la contaminación física y química de los recursos hídricos. Estudios realizados por Bertoni y Lombardi Neto (2010), explican que los suelos agrícolas se vuelven gradualmente menos productivos por la degradación de la estructura del suelo, disminución del contenido de materia orgánica, reducción de la profundidad del suelo y por la pérdida de nutrientes.

En este sentido, el implementar el uso de barreras vivas como el vetiver (*Vetiveria*

*zizanioides* (L.) Nash) y hierba limón (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf) en el cultivo tradicional de piña, es una estrategia barata y sostenible para la conservación del suelo y el agua, disminuir la erosión hídrica, mejorar el rendimiento del cultivo y los ingresos (Katyal y Hegde 1994). Por todo lo expuesto la investigación plantea como objetivos: Generar información de un suelo Ultisol y, evaluar integralmente la pérdida de suelos y nutrientes por erosión hídrica en un sistema de producción comercial de piña MD-2, en La Chorrera, Panamá Oeste.



## **OBJETIVOS**

### **General**

- Generar información de un suelo Ultisol y evaluar integralmente la pérdida de suelos y nutrientes por erosión hídrica en un sistema de producción comercial de piña MD-2 en La Chorrera, Panamá Oeste.

### **Específicos**

- Evaluar las características físico-químicas y clasificar el perfil de suelo, ubicado en la comunidad de Las Yayas Afuera, distrito de La Chorrera.
- Evaluar la erosividad de la lluvia y la precipitación acumulada en la comunidad de Las Yayas Afuera, distrito de La Chorrera.
- Evaluar la pérdida de suelo por erosión hídrica, bajo condiciones de lluvia natural en un sistema productivo de piña y en combinación con el uso de barreras vivas.
- Determinar la cantidad de nutrimentos Carbono Orgánico Total, N, K, P, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn que se pierden en sedimentos erosionados en un sistema productivo de piña y en combinación con el uso de barreras vivas.

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

### **1. Definición de los Ultisoles**

Los Ultisoles son los suelos más extensos en las tierras bajas de América tropical, se localizan en posiciones geomorfológicas viejas bajo vegetación de bosque y se caracterizan por presentar un horizonte argílico de acumulación de arcilla, nivel de lavado y meteorización (CIAT 1983). Además, Buol (2004) señaló que en estos suelos la eluviación y la iluviación son los procesos más importantes en el desarrollo del perfil, dándose el caso de acumulación de arcillas en horizontes profundos del perfil, y produciéndose una pérdida de arcillas en los horizontes superficiales.

Por otra parte, la CICH (2007) indicó que los suelos presentes en la zona de estudio son típicos de las zonas tropicales. El clima húmedo y las altas temperaturas durante el año han sometido estos suelos a procesos de lixiviación o lavado de sus bases intercambiables a través del perfil. Estos suelos se han desarrollado bajo la influencia de las condiciones climáticas imperantes a partir de un material parental casi uniforme de rocas ígneas extrusivas basálticas, andesíticas de la formación Tucué.

### **2. Génesis de los Ultisoles**

En estudios de pedogénesis, Wilding *et al.* (1983) señalaron que la mayoría de los Ultisoles se formaron a partir materiales de parentales del Pleistoceno o más antiguas. El CIAT (1983) sostiene que son suelos jóvenes y pocos meteorizados, los cuales han sufrido un intenso lavado, ocasionando un empobrecimiento de las bases y migración mecánica de

la arcilla formando así un horizonte argílico. Porta *et al.* (2003) indicaron que los Ultisoles son suelos subtropicales y tropicales muy evolucionados, pobres en bases, con iluviación de arcillas que se encuentran en las últimas etapas de meteorización y evolución.

En génesis y clasificación de suelos Buol (2004), explicó que son suelos ácidos, con un horizonte de acumulación de arcillas que se ha movilizado desde las partes más superficiales del suelo, con colores rojizos o pardos. Por otra parte, USDA (2010) informó que poseen un horizonte diagnóstico subsuperficial argílicos o kándico, bajo contenido de bases, por suma de cationes, menos del 35 por ciento a una profundidad de 1.25 metros y acumulación de arcilla iluviada.

### **3. Distribución de los Ultisoles en Panamá**

En Panamá, los suelos Ultisoles son importantes, porque representan a nivel del trópico latinoamericano el 20 por ciento con una extensión estimada en 320 millones de hectáreas y cubren más del 40 por ciento del territorio nacional (Name *et al.* 2004). Por un lado, los Ultisoles predominan en toda la costa Atlántica de Colón, Veraguas y Bocas del Toro. También ocupan extensiones del sur de Chiriquí, Veraguas y en la zona central de Panamá y Panamá Oeste. En cambio, CATAPAN (1970) y AED (2004b) se refieren a tres órdenes de suelos en el distrito de La Chorrera, destacando principalmente los Oxisoles, luego le siguen en importancia los Inceptisoles y Entisoles.

Por otra parte, Jaramillo *et al.* (1991) señalaron que los Ultisoles se encuentran en áreas planas y onduladas geomorfas, muy estables; desarrollados a partir de material sedimentario del mioceno, bajo régimen climático húmedo, en donde las precipitaciones medias anuales oscilan entre 2515 y 2974 milímetros. Estos suelos presentan un intenso

proceso de translocación de las arcillas. Presentan horizontes argílicos muy desarrollados, estructuras en bloques angulares y subangulares, de color rojo amarillento, pardo rojizo o pardo oscuro, medianamente profundos a profundos, con horizontes pobremente marcados, de drenaje pobre, de buena permeabilidad y bajo contenido de materia orgánica, medianamente ácidos a muy ácidos y con contenidos bajos de bases intercambiables y de nutrientes; lo que determina una baja fertilidad natural y pobre productividad agrícola.

#### **4. Taxonomía de Suelos**

Para Reyes (2013), el sistema americano “Soil Taxonomy” fue desarrollado y coordinado internacionalmente en 1951 por el United States Department of Agriculture (USDA) y su subsidiaria National Cooperative Soil Survey (NCSS), como un nuevo sistema de clasificación; usando aproximaciones sucesivas para determinar la capacidad de un suelo para encajar en categorías predeterminadas. Así pues, este proceso interactivo culminó con la elaboración de un Sistema de Clasificación de Suelos, conocido como la séptima aproximación, en función de varios parámetros que se desarrollan en niveles: Orden, Suborden, Gran Grupo, Subgrupo, Familia, y Serie.

Según estudios de clasificación por Buol (2004), los subórdenes de los Ultisoles están relacionados con el régimen edáfico de humedad y el contenido de materia orgánica, encontrándose los Aquult, Udult, Ustul, Xerult y Humult. En similares condiciones, Chinchilla *et al.* (2011) caracterizaron y clasificaron 26 suelos del orden de los Ultisoles en la parte media de la subcuenca del río Pirrís en Costa Rica y, por taxonomía, reconocieron los subórdenes Humults y Ustults. Por otra parte, Villareal *et al.* (2010) clasificaron los suelos como Ultisoles según el Soil Taxonomy y Nitisoles como

equivalencia con el World Reference Base for Soil Resources (WRB) que se caracterizan por ser suelos rojos tropicales profundos, bien drenados y con un horizonte subsuperficial arcilloso nítico que tiene elementos estructurales de bordes planos o nuciformes con caras brillantes.

## **5. Caracterización general de los suelos del área**

En el año 2006, el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP 2006), publicó los mapas de zonificación de los suelos de Panamá basado en sus niveles de nutrientes, llenando un poco el gran vacío que existía en materia de clasificación de suelos. Según este informe, la mayoría de los suelos en La Chorrera son de textura arcillosa, muy ácidos, con bajas concentraciones de materia orgánica.

También, se presentaron bajas concentraciones de macroelementos como en fósforo, potasio, calcio y magnesio. Por otra parte, Name *et al.* (2004), indicaron que estos suelos se caracterizan por ser deficientes en macro y micro elementos y, algunas veces con toxicidad de aluminio. Además, presentan altas concentraciones de aluminio y bajas concentraciones de hierro, cobre, manganeso y zinc.

## **6. Propiedades físicas del suelo**

Según Black *et al.* (1965a), las propiedades físicas del suelo se refieren a la forma como se observa, se percibe o se comporta el suelo en procesos que no implican modificaciones químicas las cuales ejercen influencia directa o indirecta sobre el comportamiento del cultivo.

Estudios sobre suelos contaminados Volke *et al.* (2005), explican que la estructura física del suelo lo determinan el tipo de material geológico del que se origina, la cubierta vegetal,

el tiempo en que ha actuado el intemperismo, la topografía y los cambios artificiales resultantes de las actividades humanas a través del tiempo. Por un lado, Sánchez (1981) señaló que estas propiedades tienen la responsabilidad del transporte del aire, calor, agua y de sustancias solubles a través del suelo.

#### **(a). Textura del suelo**

Según Baver *et al.* (1973), Brady y Weil (2013), la textura de un suelo es una propiedad física permanente, que se refiere a la expresión porcentual de las fracciones granulométricas arena, limo y arcilla que lo constituyen. Su nombre indica la clasificación textural a la que pertenece de acuerdo al sistema americano (USDA 2010) y al triángulo de textura que se dispone para cada horizonte del suelo. Por otra parte, CIAT (1983) señaló que debido a la presencia del horizonte argílico, los Ultisoles tienen mayores contenidos de arcilla en el subsuelo y frecuentemente tienen una textura franca sobre un subsuelo arcilloso.

#### **(b). Estructura**

La estructura del suelo es la forma de agregarse las partículas del suelo en unidades de mayor tamaño y al espacio vacío asociado a ellas y se describe en cada horizonte atendiendo al grado, forma y tamaño de los agregados (Baver *et al.* 1973). Trabajos realizados por Montenegro (2003), indicaron que las mejores condiciones estructurales estarán definidas por gránulos y grumos; estructuras íntimamente relacionadas con la materia orgánica. Si los elementos estructurales tienen un tamaño entre uno y tres milímetros, se presentarán las mejores condiciones de aireación, infiltración, retención de humedad y penetración del sistema radicular.

Según investigaciones del CIAT (1983), los Ultisoles típicos tienen una estructura menos favorable debido al menor contenido de arcilla en el horizonte superficial, la estructura granular está débilmente expresada y los agregados forman bloques subangulares que presentan revestimientos de películas de arcilla iluvial.

#### **(c). Color**

En la descripción del color del suelo, Munsell (2013) indicó que es una propiedad física relacionada con la longitud de onda del espectro visible que el suelo refleja al recibir los rayos de luz. Además, su interés radica en que permite inferir otras propiedades y la respuesta esperable de las plantas. En tanto, Baver *et al.* (1973), Narro (2004) y Brady y Weil (2013), describieron que la coloración del suelo se debe a elementos cromógenos, como el humus que resulta en suelos de color café oscuro o negro y los compuestos de hierro o arcilla que generan colores rojos, pardos y grises.

Por otra parte, investigaciones edáficas de América tropical del CIAT (1983) sostienen que los suelos con altos contenidos de óxidos hidratados de hierro, como la goetita y la limonita tienden a presentar colores amarillos; en tanto, las formas no hidratadas como la hematita tienden a imprimir un color rojo y en los Ultisoles con base a la carta de Munsell (2013), los colores van de 5YR (rojo intenso) hasta 10 YR (amarillo rojizo).

#### **(d). Densidad aparente**

Para Blake (1965) la densidad aparente del suelo, es la relación entre la masa de los sólidos y el volumen que éstos ocupan, incluyendo el espacio poroso entre las partículas sólidas. Por otra parte, Porta *et al.* (2003) mencionaron valores de densidad aparente para suelos arenosos de 1.45 a 1.60 gramos por centímetro cúbico, suelos arcillosos

estructurados 1.05 a 1.10 gramos por centímetro cúbico, suelos compactos 1.90 a 1.95 gramos por centímetro cúbico y en suelos orgánicos valores de 0.25 gramos por centímetro cúbico. En los Ultisoles, el espacio poroso es menor y la densidad aparente mayor, debido a la ausencia de la estructura granular. También, la densidad aparente puede ir incrementándose ligeramente al aumentar la profundidad, por la disminución del contenido de la materia orgánica (CIAT 1983).

**(e). Densidad real**

En cuanto a la densidad real o de partícula, Blake (1965) sostiene que corresponde a la relación entre la masa de las partículas sólidas del suelo y el volumen que estas ocupan excluyendo el volumen del espacio poroso que existe entre las partículas sólidas. En tanto, Baver *et al.* (1973), Narro (2004) y Brady y Weil (2013) indicaron que la gran mayoría de los minerales de la arena y el limo están constituidos por feldespatos y cuarzo, cuya densidad de partícula varía entre 2.6 a 2.7 gramos por centímetro cúbico. Además, en suelos orgánicos como humus y turba llegan a bajar entre 1.37 a 1.20 gramos por centímetro cúbico.

**(f). Porosidad**

En estudios sobre las propiedades físicas del suelo, Hillel (1998) señaló que la porosidad es un índice relativo de espacios vacíos en una unidad de volumen de suelo. Por otra parte, Narro (2004) estimó valores de porosidad para suelos arenosos con baja capacidad reactiva de las partículas de 0.4 centímetro cúbico por centímetro cúbico, en suelos arcillosos estructurados y orgánicos ricos en coloides alrededor de 0.6 centímetro cúbico por centímetro cúbico y en suelos compactados 0.3 centímetro cúbico por centímetro cúbico.



El CIAT (1983) indicó que en los Ultisoles el espacio poroso es menor y la densidad aparente mayor, debido a la ausencia de estructura granular, con un comportamiento mejor en cuanto a sus características de retención de humedad.

**(g). Estabilidad de los agregados**

Evalutando los cambios de la estructura del suelo en diferentes cultivos, Kay (1990) señaló que la estabilidad de los agregados es una estimación de la capacidad del suelo para mantener la arquitectura de la fracción sólida y del espacio poroso. También, hacen referencia a la capacidad de estos para mantener su forma, sometidos a fuerzas inducidas artificialmente; como las derivadas de la humectación, impacto de las gotas de lluvia, el paso de agua o a un determinado proceso dispersivo.

Por otra parte, estudios del CIAT (1983) explican que la estabilidad de los agregados está en función del contenido de arcilla, a mayor contenido de arcilla; generalmente, hay mayor contenido de óxidos libres de hierro. Además, los Ultisoles tienen una estructura menos favorable debido al menor contenido de arcilla en el horizonte superficial. También, se mencionan los valores de estabilidad de los agregados en porcentaje para suelos con diez por ciento del contenido de arcilla presentan valores de 35 por ciento y, en suelos con 50 a 90 por ciento de arcilla se encontraron valores de 80 a 90 por ciento de estabilidad.

**(h). Infiltración**

Discutiendo sobre la importancia de la infiltración en el ciclo hidrológico, Horton (1933) se refiere a la infiltración como el movimiento vertical del agua desde la superficie del suelo hacia las capas más profunda y es afectada por las características del perfil edáfico, como la textura, la estructura, la cantidad de materiales orgánicos e inorgánicos,

así como por el tamaño y volumen total del espacio poroso. En cambio, Buol *et al.* (1981) y Porta *et al.* (1994) se refieren a la velocidad de infiltración básica como la tasa constante registrada en un suelo después de un periodo de prueba que comprende ensayos de tres a cuatro horas de duración.

Según Holzapfel y Matta (2005), uno de los modelos más conocido para evaluar el comportamiento de la infiltración del agua en el suelo fue desarrollado por Kostiakov (1932), que expresa la infiltración en un punto. Sánchez (1981) y el CIAT (1983) indican que los Oxisoles y Ultisoles tienen altas tasas de infiltración, alrededor de 20 centímetros por hora, en comparación con la de un suelo arcilloso montmorillonítico que tiene un promedio de diez centímetros por hora.

#### **(i). Profundidad efectiva**

Según Baver *et al.* (1973), Narro (2004) y Brady y Weil (2013), la profundidad efectiva se refiere al impedimento mecánico del suelo en cuanto al crecimiento de las raíces y, en la mayoría de los estudios de suelo se investiga a una profundidad de 150 a 180 centímetros. Además, se indica que a menos de 25 hasta 50 centímetros son suelos someros, de 50 hasta 150 centímetros suelos profundos y, más de 150 centímetros, muy profundos. La mayoría de los Ultisoles tienen perfiles profundos y bien desarrollados con una transición difusa entre los horizontes y no presentan impedimentos físicos para el crecimiento radical (CIAT 1983).

### **7. Propiedades químicas del suelo**

En metodologías para análisis de los suelos, Black *et al.* (1965b) y Lora (2003) se refieren a la química del suelo como la ciencia concerniente a la constitución química, a

las propiedades y a las reacciones químicas; donde su conocimiento permite interpretar en forma confiable los resultados de los análisis de suelo para su fertilización y manejo en la producción agrícola.

Trabajos realizados por Medina *et al.* (2009) señalan que la evaluación de los cambios en las características del suelo de una región tropical puede hacerse, observando la evolución de ellas en el tiempo y teniendo también como referencia al ecosistema natural con base en propiedades químicas como el pH, contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio aprovechables, aluminio intercambiable y elementos menores.

#### **(a). pH**

Según Sánchez (1981), en el trópico abundan los suelos ácidos y, la reacción del suelo está en función de la concentración de iones de hidrógeno ( $H^+$ ) para suelos ácidos y de hidroxilos (OH) en suelos alcalinos. Castañeda (2003) señaló que los suelos con mejores condiciones para el cultivo de piña el pH debe estar entre 4.5 hasta seis y, con niveles muy bajos de aluminio.

Para los suelos de América Latina Fassbender y Bornemisza (1985), indicaron que la acidificación progresiva de los suelos tropicales se presenta cuando se practica una agricultura intensiva y al reemplazo de los cationes de calcio, magnesio, potasio y sodio por los iones de hidrógeno y aluminio en el complejo de intercambio. Por otro lado, Jiménez (1999) señala que cuando el pH es muy bajo se producen deficiencias nutricionales de elementos y se desarrolla un ambiente ideal para las enfermedades en el cultivo de piña.

#### **(b). Conductividad eléctrica**

Evaluando suelos salinos y sódicos Allison *et al.* (1980) y Bosch *et al.* (2012), indicaron

que la conductividad eléctrica del suelo es la capacidad de conducir la corriente eléctrica y está relacionada con la cantidad de iones positivos y negativos que se encuentran en la solución del suelo. Además, son un indicador del contenido de sales que se mide en el laboratorio con el extracto de pasta de saturación (Warrick y Nielsen 1981). También, es una medida afectada por la combinación de contenido de agua del suelo, contenido de sales disueltas, contenido de arcillas, mineralogía y temperatura del suelo (Tarr *et al.* 2005).

Estudios de la USDA (2000) sobre la calidad del suelo, indicó que los valores de conductividad eléctrica entre cero y 0.8 deciSiemens por metro (cero a 800 MicroSiemens por centímetro) son aceptables para el crecimiento de los cultivos. Por el contrario, García (2003) señaló un valor de conductividad eléctrica de cuatro deciSiemens por metro, como nivel crítico para determinar si un suelo es salino o no.

## **8. Macronutrientes**

### **(a). Materia Orgánica**

Realizando estudios comparativos sobre la materia orgánica del suelo, Broadbent (1965) y Porta *et al.* (2003) señalaron que la biomasa muerta procedente principalmente de las plantas, animales, microorganismos y sus derivados, es la que permite explicar la materia orgánica en los suelos y, es un indicador para evaluar la salud del suelo debido a que su calidad y cantidad influye directa e indirectamente en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Pulido *et al.* 2010). Además, Mortensen y Himes (1964) indicaron que la materia orgánica es una fuente importante de fósforo orgánico para las plantas, usualmente constituyendo entre el 15 y 80 por ciento del fósforo total en el suelo.

Reportes de investigaciones sobre la mineralización del nitrógeno en el suelo Accoe *et*

*al.* (2004) e influencia de los compostajes Rivero *et al.* (2004), indicaron que la materia orgánica actúa como reservorio de carbono y nutrientes para las plantas; destacando la importancia de mantener la fertilidad y elevar la calidad en suelos tropicales. Luego, estudios realizados por el CIAT (1984) explican que los Ultisoles en la América tropical tienen contenidos de materia orgánica frecuentemente entre dos y cuatro por ciento, muy parecidos a suelos pocos meteorizados y fértiles. Por otra parte, Hepton (2003) señaló que las plantas de piña responden favorablemente en suelos con un alto porcentaje de materia orgánica, con un equivalente entre 2.4 y 4.2 por ciento.

#### **(b). Nitrógeno**

En estudios sobre la fertilidad del suelo, Tisdale y Nelson (1988) indicaron que las formas más comunes asimiladas por las plantas son los iones de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y el amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Pero, Bertsch (1998) señaló que es un elemento fundamental en todas las moléculas orgánicas involucradas en los procesos de crecimiento y desarrollo vegetal. En tanto, Medina (2003) indicó que es parte de casi todas las moléculas esenciales, incluyendo aminoácidos, proteínas y ácidos nucleicos.

Además, un alto nivel de nitrógeno en la planta de piña a la hora de la inducción floral evita que las plantas respondan al estímulo de la floración (Jiménez 1999). Por otra parte, una deficiencia extrema está presente cuando los niveles son menos del 0.10 por ciento en peso fresco del análisis foliar.

#### **(c). Fósforo**

La absorción por las raíces de las plantas de los iones ortofosfatos de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  es diez veces más rápida que la de  $\text{HPO}_4^{2-}$ , el  $\text{PO}_4^{3-}$  es absorbido con lentitud y las cantidades

están afectadas por el pH del suelo (Tisdale y Nelson 1988). Bertsch (1998) explica que forma parte de la molécula transportadora de alta energía ATP y participa en todos los procesos metabólicos que involucran energía

Por otro lado, Medina (2003) indicó que forma parte estructural de los ácidos nucleicos (ADN, ARN), que participan en reacciones de transferencia de energía a través de los nucleótidos y hace parte de otros compuestos orgánicos esenciales (fosfolípidos, azúcares y fitina). En tanto, Jiménez (1999) señaló que los síntomas de deficiencias de fósforo se verifican con un secamiento de las puntas en las plantas de piña y, un mínimo de 25 partes por millón de fósforo disponible es necesario para un crecimiento óptimo de la piña. Los síntomas de la deficiencia de fósforo se observan en niveles de suelo por debajo de cinco partes por millón (Swete-Kelly 1993).

#### **(d). Potasio**

El potasio es requerido por las plantas en grandes cantidades y es absorbido por las raíces en la forma iónica de  $K^+$  (Tisdale y Nelson 1988). Además, Bertsch (1998) explica que está involucrado directamente en el transporte de azúcares vía floema, mantenimiento de la permeabilidad de las membranas y puede ser parcialmente sustituido por el sodio y rubidio.

Estudios de deficiencias de minerales Medina (2003), sostienen que este elemento activa numerosas enzimas involucradas en la fotosíntesis y la respiración, participa en la síntesis de proteínas, es responsable de la apertura y cierre de los estomas, regulación osmótica e hídrica de la planta. Pero, Jiménez (1999) manifiesta que los síntomas de deficiencia de potasio en la planta de piña se observa cuando en hojas nuevas mueren y se

vean angostas y acanaladas. Además, en el suelo debe haber un mínimo de 150 hasta 350 partes por millón de potasio disponible y, los síntomas de deficiencia de potasio se observan cuando el nivel del suelo está por debajo de 60 partes por millón (Swete-Kelly 1993).

#### **(e). Calcio**

El calcio en suelos ácidos de las regiones húmedas se encuentra en la forma cambiante, como minerales primarios no descompuestos y es absorbido por las raíces en la forma iónica de  $\text{Ca}^{2+}$  (Tisdale y Nelson 1988). Según Bertsch (1998), es un elemento necesario para la mitosis en las zonas meristemáticas, pues se relaciona con la nodulación y la fijación de nitrógeno.

Por un lado, Medina (2003) explica que participa en la estabilización de paredes y membranas celulares, elongación y división celular. Además, en la modulación de las respuestas hormonales y ambientales, como mensajero secundario. Por otro lado, Jiménez (1999) indicó que la deficiencia de calcio en la planta de piña hace que las hojas se vuelvan gruesas, moteadas y necrosadas en el corazón de la planta, la fructificación se hace impredecible y es deforme; además, en el suelo debe haber un mínimo de 200 partes por millón de calcio disponible y, se observan síntomas de deficiencia cuando el nivel es inferior a 25 partes por millón (Swete-Kelly 1993).

#### **(f). Magnesio**

El magnesio disponible por las plantas en el suelo está en forma cambiante y/o hidrosoluble, de forma lentamente disponible, es absorbido por las raíces en la forma iónica de  $\text{Mg}^{2+}$  y ayuda en la absorción del fósforo y, en reacciones de fosforilación del ATP

(Bertsch 1998).

Por el contrario, Medina (2003) señaló que forma parte de la molécula de la clorofila, la cual activa enzimas involucradas en la fotosíntesis, respiración, síntesis de ácidos nucleicos síntesis de proteínas y en reacciones de transferencia de energía. Sin embargo, Jiménez (1999) reportó que en la planta de piña las deficiencias de magnesio se manifiestan en hojas inferiores necróticas, con clorosis en las puntas; además, en el suelo debe haber un mínimo de 100 partes por millón de magnesio disponible.

## **9. Micronutrientes**

### **(a). Hierro**

El hierro tiene alta movilidad y sus deficiencias son pronunciadas en suelos calcáreos, y en suelos con un alto nivel de fósforo. Estos se relacionan con clorosis férrica, que puede ser absorbido por las plantas como ión ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y como ión férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) (Tisdale y Nelson 1988). Según Bertsch (1998), sostiene que es el componente de proteínas ferroporfirínicas, citocromos, leghemoglobina y en metaloloflavoproteínas que intervienen en diferentes reacciones de óxido reducción biológica.

Para Medina (2003), el hierro participa en diferentes reacciones de transferencia de electrones, como la fotosíntesis y respiración. También, activa numerosas enzimas y participa en la síntesis y desarrollo de los cloroplastos. En cambio, Jiménez (1999) señaló que las plantas de piña con deficiencia de hierro presentan una clorosis en las hojas de la corona y entre las venas, debido a que no absorben nitrógeno eficientemente; además, en el análisis foliar debe haber un mínimo de tres partes por millón de hierro con base en peso fresco.



### **(b). Manganeso**

Este elemento tiene una alta movilidad en el suelo; además, el efecto de la materia orgánica, la cal y el grado de humedad del suelo son factores que han sido asociados con deficiencias de manganeso (Tisdale y Nelson 1988).

Por un lado, en condiciones de suelos secos, la disponibilidad es mayor y es absorbido por las raíces en la forma iónica de  $Mn^{2+}$ . Bertsch (1998) explica que participa en la síntesis proteica, y en la formación de ácido ascórbico o Vitamina C.

Por otro lado, participa en la fotosíntesis (fotólisis del agua) y activa las enzimas del ciclo de Krebs (Medina 2003). Luego, Jiménez (1999) señaló que a parte de la deficiencia en el ápice del tallo debe haber un mínimo de 122 partes por millón de zinc con base en peso fresco. A pesar de la presencia de altos niveles de manganeso soluble en muchos suelos tropicales, no se han observado síntomas de toxicidad por manganeso en el cultivo de piña (Py *et al.* 1987).

### **(c). Cobre**

El cobre es de baja movilidad y su retención en el suelo incrementa con la materia orgánica. La cantidad depende de los materiales originarios y es absorbido por las raíces en la forma ión cúprico  $Cu^{2+}$ , cuproso  $Cu(OH)^{+1}$  o como parte de complejos orgánicos, donde su solubilidad es poco afectada por el pH (Tisdale y Nelson 1988).

Estudios de nutrición de las plantas Bertsch (1998), explican que es el componente de la plastocianina presente en los cloroplastos, promueve la formación de la Vitamina A y actúa como conductor electrónico en la actividad respiratoria.

Por otro lado, Medina (2003) sostiene que forma parte de compuestos claves en la

transferencia de electrones como la plastocianina, superoxidismutasa, citocromo, y ascorbato oxidasas, laccasa y fenolasa y amino oxidasas.

Para Malézieux y Bartholomew (2003), el rango óptimo para el cobre presente en el tejido blanco basal de la hoja D es de diez a 50 partes por millón en masa fresca. La deficiencia de cobre se corrige fácilmente con aplicaciones foliares de sulfato de cobre.

#### **(d). Zinc**

El zinc presenta alta movilidad en el suelo y más disponibilidad para las plantas en los suelos ácidos que en los alcalinos. Con frecuencia, se observan deficiencias en suelos ricos en fosfatos y materia orgánica, pues es adsorbido por las arcillas minerales y por los carbonatos de calcio y magnesio (Tisdale y Nelson 1988). Además, se absorbe en forma iónica por las plantas como  $Zn^{2+}$ . Según Bertsch (1998), interviene en la síntesis de la hormona del crecimiento ácido indolacético (AIA) a nivel de su precursor, el triptófano, y activa la anhidrasa carbónica que convierte el ácido carbónico en dióxido de carbono y agua.

Por otra parte, Medina (2003) indicó que forma parte de enzimas como alcohol deshidrogenasa, superoxidismutasa, anhidrasa carbónica; además, activa enzimas para la síntesis de ácido indolacético. Luego, Jiménez (1999) señaló que la deficiencia de zinc en las plantas de piña se verifica con hojas curvadas, torcidas y con un desarrollo detenido, perdiendo el predominio del meristemo apical; y en el ápice del tallo debe haber un mínimo de cuatro partes por millón de zinc con base en peso fresco.

#### **(e). Sodio**

El sodio es uno de los iones metálicos más flojamente retenidos que se pierde fácilmente

en las aguas de filtración, sustituye algo de calcio y magnesio y es absorbido por las raíces en la forma iónica de  $\text{Na}^+$  (Tisdale y Nelson 1988).

Para Bertsch (1998), el sodio regula la actividad del potasio, afecta los movimientos estomáticos y de balance hídrico; además, es esencial para la regeneración del fosfoenol piruvato en plantas del tipo C4 y CAM (Medina 2003).

## **10. Saturación de Aluminio**

En cuanto al aluminio, en el trópico y subtrópico, predomina en forma de  $\text{Al}^{3+}$ , lo cual afecta el crecimiento de las raíces y aumenta la deficiencia de nutrientes (Nowak y Friend 2005). Además, la piña está bien adaptada a suelos ácidos y tolera cantidades altas de aluminio y manganeso solubles (Silva *et al.* 2006). Por el contrario, Betancourt *et al.* (2005) y Bertsch (1998) indicaron que el cultivo de la piña se ha señalado entre los más tolerantes a altos niveles de saturación con aluminio. Además, el porcentaje recomendado de saturación de aluminio en un sistema de producción comercial de piña debe ser menor del 30 por ciento, solo superado por la yuca con 60 por ciento y el guandú con un valor de 40 por ciento.

## **11. Capacidad de Intercambio Catiónico**

En estudios sobre la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Chapman (1965) y Lora (2003) se refieren a los procesos reversibles en donde las arcillas, los hidróxidos y la materia orgánica absorben cationes cambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{H}^+$ ) de la solución del suelo y desabsorben al mismo tiempo cantidades equivalentes de otros cationes, estableciendo un equilibrio. Por un lado, los suelos tropicales como los Ultisoles tienden a presentar una baja Capacidad de Intercambio Catiónico y,

posteriormente, presentan problemas de pérdidas de cationes como el potasio, calcio y magnesio por acción de las intensas lluvias durante la temporada lluviosa (CIAT 1984).

## **12. Degradación de los suelos**

La degradación del suelo es la pérdida de su productividad y utilidad real o potencial, como resultado de factores naturales o antropogénicos. El problema es particularmente grave en los trópicos y subtrópicos; como resultado de la gran presión demográfica, la escasez de tierras agrícolas de primera calidad, los entornos hostiles y los agricultores de escasos recursos que no pueden permitirse las aportaciones recomendadas basadas en la ciencia (Lal 1993).

Según Riquier (1978), la degradación del suelo se refiere a la disminución de la capacidad actual y/o potencial del suelo de producir cuantitativamente y/o cualitativamente bienes o servicios. López (2016) indicó que la degradación del suelo se manifiesta de diversas formas, como erosión hídrica, salinización, pérdida de la materia orgánica, agotamiento de los nutrientes, pérdida de la biodiversidad, contaminación, compactación y sellado del suelo.

## **13. Erosión hídrica**

Uno de los fenómenos más importantes que conduce a la degradación del suelo es la erosión hídrica en las tierras de cultivo. El concepto fundamental descrito por Ellison (1947) señala que la erosión es un proceso de desprendimiento del suelo y transporte. Brown y Wolf (1984) señalaron que la erosión del suelo es un proceso que causa la pérdida de la capa superficial del suelo fértil, sedimentación y contaminación de los cuerpos de

agua superficiales, siendo un serio problema agrícola y ambiental en muchas áreas del mundo

Aunque, la erosión del suelo a menudo se asocia con deterioro o pérdida de recursos hídricos y puede ser la forma más grave y menos reversible de degradación de la tierra en ambientes tropicales, donde hay poca documentación al alcance sobre el impacto o causas de la erosión en estas regiones (El-Swaify *et al.* 1982).

La erosión hídrica del suelo en sí misma se describe como un proceso que tiene tres etapas: desprendimiento, transporte y deposición (Foster *et al.* 1985, Lal 2001). El desprendimiento de sedimentos de la superficie del suelo es causado por el impacto de la gota de lluvia, la fuerza de arrastre del agua y la disolución de agentes cementantes del suelo a través de reacciones químicas (Lal 2001).

Por un lado, Foster *et al.* (1985) indicaron que las partículas desprendidas se transportan mediante el flujo de agua y se depositan cuando disminuye la velocidad del agua, debido a cambios en la pendiente o la cobertura del suelo. Además, Estos sedimentos erosionados se componen de una mezcla de agregados (conglomerados de arcilla, limo y arena) y partículas primarias.

En general, en las zonas con pendientes pronunciadas se presentan tasas de erosión hídrica mayores y el desprendimiento del suelo por el flujo de agua superficial está siempre activo (Nearing *et al.* 1999).

#### **14. Erosión hídrica y cambio climático**

Según estudios sobre manejo de suelos en países en vías de desarrollo Lal (2000), señalan que la erosión hídrica es la responsable del 56 por ciento de la degradación de los

suelos a nivel mundial y, es considerada el mayor problema económico-ambiental del mundo. En efecto, la erosión del suelo y la desertificación constituyen los problemas ambientales de mayor extensión espacial que pueden ser acentuados por el cambio climático (Ingram *et al.* 1996, William *et al.* 1996). Por otro lado, los trabajos realizados por IPCC (2012) afirmaron que el cambio climático aumentará la vulnerabilidad del sistema socio-ambiental a nivel mundial, afectando sectores como la agricultura, los recursos hídricos, los bosques y las zonas costeras.

Además, Camargo *et al.* (2016) indicaron que la provincia de Panamá Oeste, el archipiélago de San Blas, las áreas costeras de Bocas del Toro y Colón se encuentran entre las zonas más vulnerables del país. En La Chorrera, AED (2004b) informó que el cultivo de piña se caracteriza por la siembra a favor de la pendiente y por no utilizar adecuadamente las siembras, siguiendo las líneas de contorno, lo que está causando una severa erosión de los suelos. Es importante señalar que, la zona piñera está expuesta a los efectos de variabilidad climática relacionada con fenómenos climatológicos y oceánicos como la Niña y el Niño Oscilación del Sur (ENOS), los cuales provocarán el aumento de la frecuencia de eventos extremos en los valores máximos o mínimos de las variables climáticas como temperatura y precipitación.

Diversos estudios han mostrado que el fenómeno del Niño (fase cálida) produce una disminución de las precipitaciones, así como el aumento en la cantidad de días secos, dando como resultado un año con lluvia acumulada menor a la cantidad promedio. Al contrario, cuando se hace intensa la fase de la Niña (fase fría), provoca cambios en el patrón de lluvias, incrementando el volumen de precipitaciones y su intensidad por encima de lo normal en la vertiente del Pacífico y el Caribe (ETESA 2015). Almoza *et al.* (2009)

afirmaron que estos escenarios reflejarían un aumento de las temperaturas media (mayor evapotranspiración) y un régimen de lluvias más irregular, contribuyendo al incremento de la pérdida de suelo por erosión hídrica, la cual se desarrolla con mayor rapidez que el proceso de formación de suelos.

## **15. Mecánica de la erosión hídrica**

Desde la perspectiva geológica y de formación de paisaje, Hudson (1995) señaló que la erosión hídrica es un proceso que se inicia con el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, provocando la disgregación de las partículas de la masa del suelo, seguido por el transporte, arrastre, rodamiento, flotamiento de las partículas disgregadas a favor de la pendiente y finalmente, acumulación de las partículas transportadas en un lugar de altura menor.

## **16. Efectos intrínsecos y extrínsecos de la erosión hídrica**

Estudios realizados por Brady y Weil (2013) explican que el suelo erosionado es más valioso que el dejado atrás e intrínsecamente, los horizontes superficiales son los primeros en ser afectados debido a que la erosión remueve selectivamente la materia orgánica y las partículas minerales más finas, dejando atrás las fracciones minerales más gruesas, menos activas y los horizontes subsuperficiales con poca fertilidad.

La pérdida de suelo por erosión hídrica produce cargas de sedimentos considerables que se transportan en los cursos de agua y luego se depositan en las posiciones más bajas, colmatando drenajes, depresiones, reservorios y aguas superficiales; afectando la vida útil de estos (Carvalho 2008). El impacto de los sedimentos provenientes de la producción comercial de piña en el área de Las Yayas tiene implicaciones directas en la cuenca del río

Caimito.

Los efectos extrínsecos más comunes que resultan de la erosión hídrica son el arrastre de los sedimentos y nutrientes que contribuyen a la contaminación de los ríos y lagos (Brady y Weil 2013). Los nutrientes alteran la calidad del agua a través del proceso de eutrofización, causado por el exceso de nitrógeno y fósforo. Además, los sedimentos arrastrados hacia las aguas superficiales transportan metales tóxicos y compuestos orgánicos como los pesticidas. Finalmente, la colmatación de las aguas impide la penetración de la luz solar, reduce la fotosíntesis y la supervivencia de la fauna y flora acuática sumergida.

### **17. Factores específicos asociados a la erosión hídrica**

En cuanto a la vulnerabilidad de los suelos, Hudson (1995) indicó que los factores que afectan la erosión hídrica pueden considerarse como una función de componentes de la erosividad y la erodabilidad. Donde, la erosividad refleja la habilidad potencial de la lluvia para causar erosión y la erodabilidad muestra la susceptibilidad de los suelos para ser erosionados por agentes externos como la lluvia.

Por un lado, las lluvias son el factor más importante en causar erosión y, en las regiones tropicales son más erosivas que en los lugares con clima templado, debido a su alta intensidad. Por otra parte, Wilcox (1994) señaló que cuando la cobertura vegetal es removida parcial o totalmente, la erosión hídrica aumenta en relación directa a la intensidad de la precipitación y, en general, al estado de degradación del ecosistema.

### **18. Límite de pérdidas tolerables de suelo “T”**

Al establecer niveles aceptables de pérdida de suelo, Wischmeier y Smith (1978),



Schertz (1983), y Renard *et al.* (1996) señalaron que el límite de erosión tolerable “T” se refiere al máximo nivel de pérdida de suelo que pueda ocurrir, lo cual permite que la productividad del cultivo sea económicamente sostenida e indefinidamente y que, no deteriore la productividad del suelo. Posteriormente, estos autores indicaron que este concepto considera la pérdida de productividad causada por la erosión, pero también incluye la tasa de formación del suelo del material parental, la formación de suelo en la parte superficial, la pérdida de nutrientes y el costo de reemplazarlos, la tasa a la que la erosión por cárcavas podría esperarse, comience y las prácticas para el control de la erosión que los agricultores podrían implementar.

Trabajos realizados por Hallberg *et al.* (1980), mostraron que un horizonte B expuesto a la superficie, tarda de 100 hasta 125 años en transformarse en un horizonte A, parecido al original. Se ha tratado de desarrollar el concepto de que la erosión no debería ser mayor a la velocidad o tasa de formación del suelo.

#### **(a). Tolerancia de pérdidas de suelo en regiones tropicales**

Con respecto a la tolerancia del suelo en regiones tropicales, Lal (1976) estableció que se deben tomar en cuenta la variabilidad extrema de características y cualidades de los suelos. Además, el grado de erosión puede ser tolerado según la profundidad del suelo, el estado de nutrientes y las propiedades fisicoquímicas, así como de la naturaleza de los cultivos por crecer. Para los suelos tropicales delgados, una pérdida de unos pocos centímetros de suelo superficial puede resultar en serias reducciones en los rendimientos.

La severidad de la pérdida de suelo se juzga relacionándola con la velocidad de formación del suelo. Si las propiedades del suelo como el nivel de nutrientes, la textura y

la profundidad se mantienen inalteradas a través del tiempo, se considera que la tasa de erosión está equilibrada con la velocidad de formación del suelo.

#### **(b). Umbral de tolerancia para la pérdida de suelo**

Trabajos realizados por diversos autores Bennet: (1939), Hall *et al.* (1979), Schmidt *et al.* (1982), Johnson (1987), Hudson (1995), Guevara (1997), Morgan (2005), Brady y Weil (2013) han establecido el umbral de tolerancia de la pérdida de suelos en 11 toneladas por hectárea año, dado que se ha aceptado la proximidad de dicho valor a la máxima tasa de desarrollo del horizonte A, bajo condiciones óptimas, en suelos de textura media a moderadamente gruesa, con una capa de suelo de un milímetro de espesor que se ha removido uniformemente de la superficie y con una densidad aparente promedio de 1.12 gramos por centímetro cúbico.

Según Ramos (2001), por encima de esta cifra no se garantiza la conservación de los suelos, ya que la destrucción es más rápida que la creación de suelo. Sin embargo, estudios realizados por FAO (1967, 1988), explican que para la conservación de suelos, se debe planificar para una tasa de erosión de diez toneladas por hectárea y, consideran que las pérdidas de suelo por encima de 200 toneladas por año son catastróficas. Así pues, estas recomendaciones sobre tolerancia a la pérdida de suelo se basan únicamente en consideraciones agrícolas.

### **19. Erosión hídrica en Panamá**

Panamá tiene problemas muy severos de erosión y deterioro de suelos, debido al acumulativo y creciente proceso de degradación que sufren casi todas las cuencas y suelos desprovistos de coberturas boscosas, afectando el 27 por ciento del territorio nacional

(ANAM 2009). Por un lado, el estudio de evaluación mundial de la degradación de las tierras para América Latina y el Caribe (GLADA) estimó para Panamá una pérdida de suelos de 14 millones de toneladas por año, con un costo de 140 millones de dólares (10.00 dólares por hectárea por año), lo que representa el 0.9 por ciento del PIB (CEPAL 2008, Morales 2012).

Estudios realizados por Faustino (1996) en América Central y Panamá sobre el problema de la erosión hídrica, basados en métodos directos con y sin prácticas de conservación de suelos, en periodos de tiempo cortos (meses), mostraron valores variables en relación con los límites tolerables y en otros casos valores bajos que se asocian a condiciones donde el uso de la tierra en muchos casos ya agotó la capa productiva de la tierra (Cuadros 1 y 2).

**CUADRO 1. EROSIÓN HÍDRICA PARA AMÉRICA CENTRAL Y PANAMÁ CON PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS. 1993.**

País	Orden del Suelo	Precipitación promedio anual (mm)	Uso de la Tierra	Tiempo (meses)	Erosión (t ha <sup>-1</sup> )
Guatemala	Entisol	1000	Frijol	6	0.24
	Entisol	1000	Frijol	6	1.67
Honduras	Entisol	1000	Bosque	6	0.18
	Entisol	1000	Pasto	6	0.19
El Salvador	Inceptisol	1600	Maíz-Frijol	12	7.41
	Inceptisol	1200	Maíz-Frijol	12	0.65
Costa Rica	Inceptisol	2561	Maíz-Frijol	12	0.18
	Inceptisol	2370	Café	7	0.36
	Inceptisol	2700	Café	6	2.00
	Inceptisol	2541	Café	7	1.36
Panamá	Inceptisol	3250	Café	6	0.30
	Inceptisol	3250	Pasto	6	0.01

Fuente: Faustino J.. CATIE. 1996.

**CUADRO 2. EROSIÓN HÍDRICA PARA AMÉRICA CENTRAL Y PANAMÁ SIN PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS. 1993.**

País	Orden del Suelo	Precipitación promedio anual (mm)	Uso de la Tierra	Tiempo (meses)	Erosión (t ha <sup>-1</sup> )
Guatemala	Entisol	1000	Frijol	6	3.38
Honduras	Entisol	1000	Maíz	6	7.74
El Salvador	Inceptisol	1600	Maíz-Frijol	12	230.00
	Inceptisol	1200	Maíz-Frijol	12	38.45
Costa Rica	Inceptisol	2561	Maíz-Frijol	12	0.265
	Inceptisol	2370	Café	7	6.207
	Inceptisol	2700	Frijol	7	28.603
	Inceptisol	2541	Café	7	42.00
Panamá	Inceptisol	3250	Hortalizas	6	70.00

Fuente: Faustino J., CATIE. 1996.

Para mitigar los daños que la erosión causa en América Central y Panamá deben considerarse la profundidad, la pérdida de la materia orgánica y los elementos nutritivos que se movilizan en las aguas de escorrentía, lixiviación y sedimentos. Faustino (1996) explicó que la materia orgánica influye en la resistencia de los suelos a la erosión y, su contenido es un buen indicador de fertilidad por su potencial para proporcionar nutrimentos como nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y calcio a los cultivos. Luego, Kapos *et al.* (2015) encontraron que el papel de los bosques en el control de la erosión y la sedimentación es más crítico en aquellas zonas donde una alta precipitación se combina con pendientes pronunciadas, aumentando el riesgo de erosión en las cuencas aguas arriba de presas y lagos en la República de Panamá.

Las investigaciones por STRI (1999) en hidrología y suelos sobre la Cuenca del Canal de Panamá demostraron un aumento en la pérdida de nutrientes en formas de nitrógeno ( $\text{NO}^{2-}$ ,  $\text{NO}^{3-}$ ,  $\text{NH}_4$ ) y fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) en las aguas superficiales que aceleran la eutrofización de las aguas. Los niveles más altos se registraron aguas abajo de las áreas urbanas, agrícolas y ganaderas. El rango de concentración de nitratos varió entre 0.063 y

3.017 miligramo por litro. Las mayores concentraciones de fosfatos, expresados como ion ortofosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), se presentaron al igual que los nitratos con un rango de concentración de 0.001 y 0.501 miligramo por litro. Finalmente, indicaron que los suelos de la microcuenca boscosa en la Cuenca del Canal de Panamá son más propensos a la erosión hídrica.

Según Polo (2007), los sistemas de producción de piña en Panamá se encuentran sobre áreas con pendientes muy pronunciadas entre ocho y 45 por ciento. La pendiente promedio es de 15 por ciento, sin embargo, a nivel de fincas se encuentran pendientes mayores al promedio. En muchas zonas se practica la siembra a favor de la pendiente, lo que favorece la erosión hídrica. En épocas de fuertes lluvias los impactos derivados de la erosión pueden ser críticos, ya que el sistema radicular de la piña entre 15 y 30 centímetros de profundidad, otorga al suelo una limitada cobertura vegetal.

La ARI (1996) estimó la erosión potencial y real para determinar áreas de protección y manejo de la cuenca del Canal de Panamá; encontrando valores moderados para lámina de agua y erosión potencial en las subcuencas de Caño Quebrado y en Los Hules y valores altos para la subcuenca de Tinajones. No obstante, los valores de erosión real están por encima del límite tolerable (Cuadro 3).

En la Cuenca del río La Villa, Urriola *et al.* (2008) reportaron pérdidas de suelo entre 2.9 a 7.2 toneladas por hectárea en pendientes de 15 y 30 por ciento respectivamente. También, Agudo *et al.* (2011) determinó que un 80 por ciento de los suelos presentan el factor de erodabilidad, moderadamente alto en la parte media-alta de la cuenca, y valores de 0.031 a 0.043 toneladas hectárea hora por hectárea MegaJoules milímetro. Por otra parte, Lara *et al.* (2016) determinaron que la pérdida de suelo promedio de las parcelas

piñeras con y sin prácticas de conservación fue de 0.50 y 1.90 toneladas por hectárea respectivamente.

**CUADRO 3. ESTIMACIÓN DE LA ESCORRENTÍA, EROSIÓN POTENCIAL Y REAL EN LA CUENCA DEL CANAL DE PANAMÁ.**

Subcuenca	Lámina Escurrída (mm año <sup>-1</sup> )	Erosión potencial (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Erosión real (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Densidad de la población (hab km <sup>-2</sup> )
Río Caño Quebrado	1196	116.23	28.23	8.5
Río Tinajones	1084	135.84	31.80	11.3
Río Los Hules	1117	43.12	10.13	31.8

Fuente: ARI, 1996.

## 20. Erosión hídrica en sistemas de producción convencional de piña

A nivel mundial, se han reportado tasas de erosión en los sistemas de producción convencional de piña entre 348 y 7.13 toneladas por hectárea (Cuadro 4). La mayoría de estos valores se encuentran por encima de la erosión natural del suelo y del umbral de tolerancia de la pérdida de suelos establecido en 11 toneladas por hectárea año.

Estos valores se encuentran por debajo de los niveles de pérdidas de suelo por erosión hídrica reportados por Putthacharoen *et al.* (1998) en cultivos como la yuca, la caña de azúcar y el frijol con 77, 47 y 31 toneladas por hectárea respectivamente, durante 50 meses de evaluación bajo una pendiente del siete por ciento en la Estación Experimental de Sri Racha de la Universidad de Kasetsart, provincia de Chomburi en Tailandia.

**CUADRO 4. PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA A NIVEL MUNDIAL EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN COMERCIAL DE PIÑA, SEGÚN PENDIENTE Y METODOLOGÍA.**

Referencia	Localización	Pendiente (%)	Pérdida de Suelo (t ha <sup>-1</sup> )	Metodología
Ciesiolka <i>et al.</i> 1995	Australia	38	348	Parcelas de escorrentía
Sakuma <i>et al.</i> 2002	Tailandia	8	147.7	Pedestales o Cárcavas
Ciesiolka <i>et al.</i> 1995	Australia	33	87	Parcelas de escorrentía
Ciesiolka <i>et al.</i> 1995	Australia	34	82	Parcelas de escorrentía
Fernández <i>et al.</i> 2012	Costa Rica	18	77	Clavos de Erosión
Sakuma <i>et al.</i> 2002	Tailandia	8	69.2	Pedestales o Cárcavas
Sakuma <i>et al.</i> 2002	Tailandia	8	44.5	Pedestales o Cárcavas
Putthacharoen <i>et al.</i> 1998	Tailandia	7	31.4	Parcelas de escorrentía
Abbasi y Jamal 1999	Malasia	9	25	Parcelas de escorrentía
Putthacharoen <i>et al.</i> 1998	Tailandia	7	21.3	Parcelas de escorrentía
Fernández <i>et al.</i> 2012	Costa Rica	4	11	Clavos de Erosión
El-Swaify <i>et al.</i> 1993	Hawaii, USA	21	7.13	Captación de Sedimentos

Fuente: generado por la presente investigación.

## 21. Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) o Universal Soil Loss Equation (USLE) de Wischmeier y Smith (1965, 1978) constituye un método de uso generalizado para predecir la pérdida de suelo anual a largo plazo, producida por la escorrentía superficial sobre superficies de terrenos cultivadas con sistemas de manejo específicos, praderas y formaciones arbustivas dispersas. También es aplicable en zonas no agrícolas, tales como áreas afectadas por movimientos de tierras (Renard *et al.* 1997).

El modelo de la EUPS parte de información referida a seis variables de control y tiene la siguiente forma según Wischmeier y Smith (1965, 1978) y Renard *et al.* (1997):

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

Donde:

A, es el promedio de pérdida de suelos anual ( $t\ ha^{-1}$ ),

R, es el factor de erosividad de la lluvia ( $MJ\ mm\ ha^{-1}\ hr^{-1}$ ),

K, es el factor de erodabilidad del suelo ( $t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ ),

L, es el factor topográfico de longitud de la pendiente (adimensional),

S, es el factor topográfico de magnitud y grado de la pendiente (adimensional),

C, es el factor de manejo y cobertura del suelo (adimensional),

P, es el factor de medidas de conservación del suelo (adimensional).

Con respecto al uso de la USLE, Wischmeier (1976) y Renard *et al.* (1997) recomiendan que se deben tener presente ciertas limitaciones de aplicación. Los resultados proporcionados por la USLE son estimaciones de pérdida de suelo y no datos absolutos de pérdida de suelo. Estas corresponden a tasas promediadas para largos períodos de tiempo, con objeto de obviar la variabilidad temporal de las precipitaciones así como del resto de factores físicos y bióticos.

El modelo únicamente considera la pérdida de suelo ocasionada por procesos de erosión difusa y en regueros, por lo que queda sin evaluar el posible efecto de procesos tales como sistemas de cárcavas efímeras o estables, movimientos en masa, incisión de canales, etc. Además, no contempla los procesos físicos de separación, transporte, sedimentación y está basado en experiencias desarrolladas en Estados Unidos por el Departamento de Agricultura (USDA), su aplicación en otras zonas geográficas debe ser realizada con



precaución. Finalmente, no fue diseñado para evaluar los rendimientos de sedimentación en cuencas complejas (Jones *et al.* 1992).

## **22. Precipitación y erosividad de las lluvias**

Se conoce como precipitación al agua procedente de la atmósfera que cae sobre la superficie del globo terrestre en forma de lluvia, nieve o granizo. En Panamá y en la mayoría de los países tropicales, la precipitación atmosférica se presenta en forma de lluvia, debido al movimiento ascendente del aire, enfriado por expansión más allá del nivel de condensación del vapor de agua. Además, en la vertiente del Caribe, las lluvias son permanentes todo el año, con variaciones en su intensidad; mientras que en la vertiente del Pacífico, se presentan un período seco que va de diciembre hasta abril y otro lluvioso de mayo hasta noviembre, como consecuencia de la migración longitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) (ANAM 2010).

Es importante señalar que, tanto la actividad agropecuaria como la gestión del territorio urbano se planifican teniendo en cuenta la intensidad de la lluvia en cada región. La clasificación de las lluvias depende en muchos casos de la climatología local y de este modo, los conceptos como seco, débil, ligero, moderados, fuerte y torrencial o extremas son bastante relativos.

### **(a). Erosividad de las lluvias**

La erosividad de la lluvia, también conocida como agresividad climática, es uno de los factores detonantes de la erosión de los suelos. Según Mabit y Bernard (2007), es la forma más generalizada y seria de degradación. El factor de erosividad de las lluvias (R) se derivó de datos de investigación que indicaban que cuando factores distintos a la lluvia se

mantienen constantes, las pérdidas de suelo de los campos cultivados son directamente proporcionales al parámetro de la tormenta (Wischmeier 1959, Wischmeier y Smith 1958).

La erosividad o capacidad potencial que tienen las gotas de lluvia de erosionar el suelo en las laderas, expresada por el factor  $EI_{30}$  o factor “R” de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), fue definido por Wischmeier y Smith (1978), luego de demostrar en Estados Unidos de América que el factor más correlacionado con la erosión era el producto de la energía cinética de la tormenta por la intensidad máxima en 30 minutos.

Para las subcuencas de los ríos Los Hules, Tinajones y Caño Quebrado, próximas al sitio del experimento, Bethancourt (2008) encontró mediante análisis de la precipitación en 22 años, la erosividad de las lluvias o factor “R”, el cual fluctuó entre valores de 1040 y 1160 pies toneladas por pulgadas acre hora año.

Según Hudson (1995), la determinación de la erosividad de las lluvias se aplica en la práctica de conservación de suelos y facilitan la clasificación de las lluvias de acuerdo a su potencial erosivo. Para la interpretación de la erosividad de las lluvias, los valores de erosividad varían de natural a extremadamente severa, conforme a la escala elaborada por Rivera y Gómez (1991) (Cuadro 5).

**CUADRO 5. CLASIFICACIÓN DEL FACTOR DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA (R).**

Erosividad de las lluvias R ( $MJ\ mm\ h^{-1}\ ha^{-1}$ )	Clasificación
< de 1000	Natural
1000 - 2500	Muy Baja
2500 - 5000	Baja
5000 - 7500	Moderada
7500 - 10000	Alta
10000 - 15000	Muy Alta
15000 - 20000	Severa
> de 20000	Extremadamente severa

Fuente: Rivera y Gómez (1991)

### **23. El cultivo de piña**

En un estudio sobre el manejo del cultivo de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.), Iglesias (2017) indicó que es la principal actividad agrícola del distrito de La Chorrera y la variedad que más se siembra es el híbrido MD-2 o piña dorada, siendo actualmente la que ocupa mayor extensión en el área y con mucho éxito para la exportación. La preferencia por esta variedad trajo como consecuencia el desarrollo e introducción de nuevas tecnologías dirigidas a mejorar los rendimientos y la calidad en la fruta.

### **24. Etapas fenológicas del cultivo de piña**

El estudio sobre el manejo y cultivo de piña de exportación, Castañeda (2003) señaló que el conocimiento de las etapas fenológicas del cultivo de piña es de vital importancia para la realización de las principales labores del cultivo y dependen de la variedad del tamaño del material de propagación, fecha de plantación, clima y suelo. Estas fases se describen a continuación:

#### **(a). Desarrollo vegetativo**

Esta fase varía entre seis y nueve meses después de la siembra y comprende la acumulación de la masa foliar que equivale al 90 por ciento aproximadamente del peso fresco de la parte aérea de una planta de piña.

#### **(b). Inducción floral**

Es la actividad agronómica que se caracteriza por la aplicación de un regulador de crecimiento como el Ethephon, para inducir la floración de la planta de piña cuando las plantas presenten un peso entre 2.3 y 2.7 kilogramos.

### **(c). Floración**

Es el momento del paso del estado de crecimiento vegetativo al reproductivo y este proceso dura de 45 a 65 días, siendo la etapa más delicada del crecimiento del fruto.

### **(d). Fructificación y cosecha**

Comprende desde el fin de la floración hasta la cosecha con una duración de cinco meses después de la inducción floral para la exportación y seis meses para el mercado interno.

### **(e). Vivero**

Es la etapa postcosecha y, se caracteriza por la producción de semillas o hijos basales necesarios para el establecimiento de nuevas plantaciones.

## **25. Suelo y preparación del terreno para el cultivo de piña**

Lo suelos con mejores condiciones para el desarrollo del cultivo de piña son de textura franco o franco arcillosa, bien drenados, con pH entre cuatro a seis y, pendientes aceptables entre 0.5 a diez por ciento. La mayoría de los productores de piña preparan el suelo antes de la siembra; según Iglesias (2017), esta actividad se inicia con el desmonte, subsolado, encamado, trazado de curvas de nivel y el encalado. Las prácticas de arar y sembrar a favor de la pendiente facilitan las labores de siembra, limpieza y cosecha; lo que está causando una severa y rápida erosión de los suelos (AED 2004b).

## **26. Uso de barreras vivas como prácticas conservacionistas**

Evaluando el manejo del agua y fertilidad del suelo, Roose (1993) afirmó que para el mantenimiento de la productividad del suelo y lograr una producción agrícola sostenida con un uso eficiente del agua, se requieren de prácticas de conservación, siendo las

agronómicas las de más fácil aceptación por los productores. Además, Rodríguez (1995) afirmó que las barreras vivas constituyen una práctica de conservación agronómica aplicable a tierras arables y no arables de ladera, a diversos sistemas agrícolas, siendo una de las de mayor eficiencia y transferibilidad en países tropicales, tanto por su bajo costo como por su simplicidad de diseño y facilidad de mantenimiento.

Estudios realizados por Ávila (2003) y Cruz (2005) indicaron que las barreras vivas son especies de plantas que se establecen entre los cultivos como líneas densas sembradas perpendicular a la pendiente o en curvas a nivel, con el propósito de reducir la velocidad de la escorrentía, retener los sedimentos que son arrastrados, disminuir la erosión y mejorar el nivel de infiltración del agua lluvia. Con esto se disminuye la degradación del suelo y se prolonga el uso de la tierra.

Investigaciones realizadas por Dass *et al.* (2011), mostraron que el vetiver fue promovido como barrera viva por el Banco Mundial y la hierba de limón en combinación con los cultivos tienen un efecto en reducir la escorrentía, pérdida de suelo, pérdida de nutrientes, mejorar la fertilidad del suelo, la retención de humedad y el rendimiento de los cultivos.

En La Chorrera, las prácticas de conservación de suelos y aguas más comunes en el cultivo de piña son el uso de terrazas, curvas de nivel, siembra de barreras vivas, barreras muertas y recubrimiento de canales con semilla; las cuales contribuyen a reducir la erosión del suelo por escorrentía y riego. Cabe señalar que son pocos los productores que usan barreras vivas de especies como el vetiver, citronela, hierba de limón o pasto humidícola.

**(a). Vetiver**

El Vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) es una gramínea perenne del tipo C4, plantas con fijación diurna del dióxido de carbono y no presentan fotorespiración (Medina *et al.* 1976); con habilidad de tolerar condiciones de estrés, plagas y enfermedades. Posee tallos rígidos que alcanzan una altura promedio de 1.50 metros, con un sistema de raíces largas y fibrosas que forman una masa fascicular, que se extiende a una profundidad de dos y tres metros que mantiene el contenido de humedad del suelo, por lo tanto, se utiliza como herramienta de gestión de la erosión del suelo en pendientes de hasta 50 por ciento y en el mantenimiento de la productividad agrícola (Grimshaw 2003, Truong 2000, Leaungvutiviroj 2006).

Con el propósito de evaluar el uso del vetiver en sistemas de conservación de suelo y aguas en el Norte de Carolina, Truong (2000) demostró que el crecimiento y desenvolvimiento del vetiver no fueron afectados por exposición a concentraciones altas, 2000 microgramos por litro de Atrazina, en el suelo y aguas de escorrentía. Esto se atribuyó, en primer lugar, a la capacidad que tiene para absorber gran cantidad de Atrazina y en segundo lugar a la actividad mejorada de los microorganismos en la rizósfera. Ciesiolka (1996), en estudios de conservación de suelo, reportó que dosis altas del Diurón no afectó el crecimiento del vetiver.

**(b). Hierba limón**

*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, también conocido como hierba de limón, se cultiva durante todo el año en Panamá. Es una planta perenne nativa de la región tropical perteneciente a la familia Poaceae del tipo C4, que crece con macollos compactos, muy

ramificados. Puede alcanzar una altura promedio de un metro, su sistema radical alcanza los 0.3 metros de profundidad; por lo tanto, se usa como una barrera viva para proteger el suelo contra la erosión con pendientes de hasta 30 por ciento y, también, es apreciada por sus propiedades medicinales y aromáticas (Weiss 1997, Dass *et al.* 2011, Shah *et al.* 2011).

## **27. Pérdida de macronutrientes**

En estudios sobre evaluación de la calidad del agua, Baker y Laflen (1983) reportaron que el Carbono Orgánico Total, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio pueden perderse por percolación a través del perfil del suelo, disueltos en el agua de escorrentía y adsorción a los sedimentos transportados por el agua de escorrentía. Por un lado, Mathan y Kannan (1993) sostienen que la pérdida de nutrientes está directamente relacionada con la concentración inicial en el suelo de origen, las lluvias, el escurrimiento y el contenido de materiales coloidales en el suelo. Además, los materiales erosionados del suelo contienen 2.4 veces más materia orgánica, 1.6 veces más nitrógeno total, 1.2 veces más magnesio intercambiable que del suelo de donde provienen (Lal 1976).

Por otro lado, Faustino (1996) señaló que la materia orgánica del suelo influye en la resistencia de los suelos a la erosión y, su contenido es un buen indicador de fertilidad por su potencial para proporcionar nutrimentos como nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y calcio a los cultivos. Sin embargo, la pérdida de esta propiedad química depende de la topografía, el tipo de suelo y la preparación del terreno.

En estudios sobre pérdidas de suelo y nutrientes en un Latosol en Brasil, Távora *et al.* (1985) encontraron un aumento en las pérdidas de fósforo, potasio, calcio y magnesio con la intensidad de las lluvias simuladas. Con relación a la materia orgánica y las arcillas,

demonstraron que son transportadas en primer lugar y que el fósforo es transportado, adsorbido a la materia orgánica y a las arcillas del suelo.

En tanto, Freitas y Castro (1983) y Seganfredo *et al.* (1997) afirmaron que el material erosionado es más rico en materia orgánica, fósforo y potasio que del suelo original. Esto se debe a la textura del material transportado, el cual es más rico en sílice y arcilla que del suelo de donde se originó el sedimento, ya que estas partículas son fácilmente transportadas y contienen mayores cantidades de nutrientes adsorbidos.

Estudios realizados por Bertol (1994) y Schick *et al.* (2000) mostraron que las pérdidas de calcio y magnesio por erosión hídrica suelen ser altas, ya que estos elementos son fuertemente adsorbidos por los coloides en el suelo, lo que facilita su transporte con el sedimento erosionado y, también, porque se encuentra en altas concentraciones en el agua de escorrentía.

## **28. Pérdida de micronutrientes**

Los micronutrientes de hierro, cobre, manganeso y zinc son metales esenciales para el crecimiento vegetal y su mayor disponibilidad está en los primeros centímetros y se relaciona con los ciclos orgánicos (Estévez *et al.* 1998). Además, el contenido de materia orgánica, arcilla y la actividad microbiana son propiedades del suelo que controlan la disponibilidad de los micronutrientes (Mengel y Kirkby 2000).

Evaluando la movilidad del cobre y del zinc en suelos agrícolas, Xue *et al.* (2003) señalaron que la materia orgánica del suelo, tiene un efecto multifacético sobre la transferencia del cobre y zinc presentes en el suelo al agua de escorrentía. Esto se debe a que atrapa los iones metálicos de manera más eficiente que las capas de las arcillas en los



suelos minerales, formando ligandos orgánicos disueltos en la solución del suelo, que a su vez forma complejos de metal disueltos y, por lo tanto, aumentan la solubilidad y movilidad del metal.

Por otra parte, Allison (1973) encontró que los micronutrientes como hierro, cobre, manganeso y zinc son muy insolubles y, que la materia orgánica tiene una habilidad de controlar el suministro y disponibilidad de estos nutrientes por considerable tiempo. Puede liberarlos cuando sean necesarios para la disposición de los cultivos y contrarrestar su toxicidad. Esta situación es similar a la fijación del cobre, pero el manganeso parece mantenerse un poco menos tenaz que el cobre.

El rol de la materia orgánica es controlar el suministro y la disponibilidad de hierro, manganeso y cobre; contrarrestando su toxicidad. En el caso del zinc, no tiene mucho efecto en su disponibilidad. Estudios realizados por Ellis y Knezek (1972), explican que las fracciones húmicas y fúlvicas de materia orgánica son muy importantes en la adsorción de cobre. Aunque, Beck *et al.* (1974) indicaron la poca asociación del manganeso con la materia orgánica.

## **29. Complejos de superficie**

En estudios sobre modelos de adsorción, se señala que los complejos de superficie son entidades que resultan de la unión de un grupo funcional situado en la superficie de las partículas coloidales del suelo con un ion o una molécula disuelta en la fase líquida del suelo. La reacción de adsorción ion metálico sustancia húmica puede dar lugar a complejos de esfera interna y externa (Sposito 1989).

#### **(a). Complejos de esfera interna**

Según Sposito (1989), los complejos de esfera interna son aquellos en los que el ligando tiene dos átomos capaces de formar un anillo con un catión hidratado, dando lugar a uniones fuertes. Los quelatos se caracterizan por dos o más grupos funcionales de un mismo ligando y están coordinados a un catión metálico en un complejo. Por un lado, estos tipos de complejos son muy estables, ya que se deben a enlaces iónicos, a covalentes o a la combinación de ambos. Es el principal mecanismo de adsorción del fósforo en suelos intemperizados, ricos en óxidos, oxihidroxidos e hidroxilos de hierro, aluminio y manganeso.

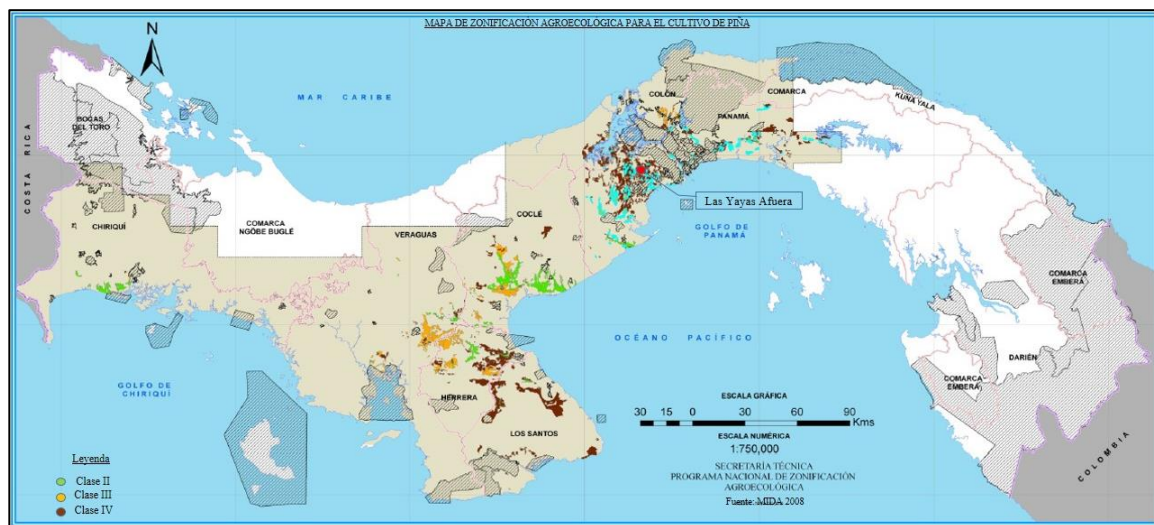
#### **(b). Complejos de esfera externa**

De acuerdo con Sposito (1989), los complejos de esfera externa son aquellos donde una o más moléculas de agua se interponen entre el grupo central (ligando) y el catión metálico. La unión es del tipo electrostática, débil y menos estable, ya que no pueden establecerse fácilmente los enlaces iónicos o covalentes entre el grupo central y el ligando, permitiendo un intercambio rápido del catión, y jugando así un papel importante en los procesos de intercambio catiónico.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### 1. Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó entre julio del 2016 y diciembre del 2017, en un sistema de producción de piña comercial con pendiente promedio del diez por ciento en la comunidad de Las Yayas Afuera, distrito de La Chorrera provincia de Panamá Oeste, entre las coordenadas 8° 55' 31.3" latitud Norte y 79° 51' 2.6" de longitud Oeste, a una altura de 131 metros sobre el nivel del mar (Figura 1). La selección del área obedeció, primero, a la uniformidad del grado y longitud de la pendiente y en segundo lugar, por el alto riesgo de erosión dentro del predio.



**FIGURA 1. MAPA DE ZONIFICACIÓN AGROECOLÓGICA PARA EL CULTIVO DE PIÑA (MIDA 2008).**

## **2. Caracterización de la zona de estudio**

### **(a). Clima**

El sitio del ensayo se encuentra dentro de la zona de vida, correspondiente al Bosque Húmedo Tropical (bh-T), ubicado al noroeste de Panamá Oeste, se caracteriza por tener temperaturas anuales entre 24 y 26 grados Celsius y precipitaciones anuales entre 1,850 a 3,400 milímetros (Atlas Ambiental de Panamá 2010, mapa Zonas de Vida 1: 1,700,000). Este clima presenta típicamente dos estaciones distintas, la estación seca de enero a abril y la estación lluviosa, a partir de mayo a diciembre. El 88 por ciento de la lluvia ocurre entre los meses de mayo hasta noviembre.

### **(b). Geología**

Estudios sobre la geología de Panamá establecen que la zona de estudio se encuentra ubicada en su posición actual a causa de los movimientos de las placas tectónicas. Esta región está influenciada por cuatro grandes fallas regionales: La Falla Azota, Caballo, Limón y Río Gatún; esta última, con una mayor actividad sísmica con respecto al resto. El mapa geológico muestra la formación geológica TM - CATu.

Es importante señalar que las rocas volcánicas intrusivas y extrusivas de esta región, tuvieron su punto más alto o intenso del proceso de formación a partir del Oligoceno y el Mioceno temprano. También, la constituyen rocas de origen volcánico del Mesozoico Terciario específicamente, del período Cretácico. Los suelos se han desarrollado a partir de un material parental, casi uniforme de rocas ígneas extrusivas basálticas de la formación Tucué como andesitas, basaltos, lavas, brechas tobas y plugs (Atlas Ambiental de Panamá 2010, mapa Geológico 1: 1,700,000).

### **(c). Geomorfología**

Estudios sobre la geomorfología de Panamá indican que el área de estudio se caracteriza por pertenecer al relieve de cerros bajos y colinas con elevaciones entre los 100 y 500 metros sobre el nivel marino. Son producto del desgaste superficial a partir de la acción de la lluvia en suelos volcánicos. La zona de este paisaje ha sido deforestada totalmente y está dedicada a tierras de pastoreo extensivo, cultivo de piña y rastrojos que se han dejado en descanso después del uso por agricultores migratorios.

La intensa precipitación que ocurre en el área ha causado un gran lavado de los cationes básicos del suelo, disminuyendo su fertilidad y aumentando la erosión. Esta unidad geomorfológica tiene la capacidad para el sostenimiento de cultivos permanentes como cítricos y frutales. El material parental está conformado por rocas ígneas extrusivas como el basalto, andesita, toba e ignibrita (Atlas Ambiental de Panamá 2010, mapa Geomorfología 1: 1,700,000).

### **(d). Capacidad Agrológica**

El sistema de clasificación de capacidades agrológicas de las tierras fue elaborado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), según la clasificación propuesta por Klingebiel y Montgomery (1961), con el objetivo de determinar el uso más adecuado y conservando así los suelos

A partir de estudios sobre la capacidad agrológica en Panamá, los suelos del área de influencia del ensayo son de tipo IV y V, de aptitud principalmente para uso pecuario y cultivos permanentes (Atlas Ambiental de Panamá 2010, mapa Capacidad Agrológica 1: 1,700,000). Estos suelos tienen pendientes de hasta 45 por ciento con alguna o varias de

las siguientes limitantes: suelos someros, pedregosidad fuerte, problemas de erosión moderada o riesgo de inundación severo.

**(e). Cobertura boscosa y uso de la tierra**

De acuerdo a estudios sobre la cobertura boscosa y uso de la tierra de Panamá, el área principal del estudio corresponde a la categoría “No-bosque” y a la clase pastos o agricultura que incluye todas las clases de actividad agropecuaria como pastoreo, agricultura migratoria y agricultura de subsistencia. Es una clase bien heterogénea, principalmente, por ser utilizadas para cultivos agrícolas anuales, semipermanentes o permanentes y pastoreo, al igual que áreas cubiertas de herbazales, rastrojos e incluso algunos remanentes boscosos dispersos (Atlas Ambiental de Panamá 2010, mapa Capacidad Agrológica 1: 1,700,000).

**(f). Hidrología**

Según estudios sobre la hidrología de Panamá, la red hidrográfica de la zona de estudio se ubica dentro del contexto de Pacífico Central, específicamente en la Cuenca número 140 (Río Caimito), la cual tiene un área de drenaje de 460.00 kilómetros cuadrados, donde el mayor río es el río Caimito con 72 kilómetros de largo. Los principales ríos de la cuenca son Aguacate, Cáceres, San Bernardino, Potrero y Caimito; siendo este último, el río principal de la cuenca (Atlas Ambiental de Panamá 2010, mapa Cuencas hidrográficas 1: 1,700,000).

Debido a las características geofísicas de la zona, las quebradas y ríos son relativamente largos y de fuerte pendiente. Estas características asociadas a las incidencias de intensos eventos de alta erosividad de lluvia, provocan avenidas de mucha intensidad, aunque de

corta duración y altos coeficientes de escurrimiento. Estas fuentes de agua son regularmente utilizadas para las actividades domésticas y agropecuarias. Además de las fuentes hídricas mencionadas, existe una red de drenajes naturales de caudal intermitente que permiten la rápida evacuación de las aguas de lluvia por escurrimiento. En esta cuenca no existen áreas protegidas.

**(g). Hidrogeología**

Investigaciones sobre la hidrogeología de Panamá en la zona de estudio, identifican formaciones geológicas del Terciario inferior del grupo Cañazas (TM-CA) que ocupa el área de las colinas, valles medios y bajos de los ríos circundantes. Estos se caracterizan por pertenecer a las áreas con acuíferos locales (intergranulares o fisurados) continuos o discontinuos de productividad moderada, con caudales entre los tres y diez metros cúbicos por hora.

Además, son acuíferos locales restringidos a zonas fracturadas, comprenden un conjunto de lavas y aglomerados de origen volcánico. Las lavas son masivas y los aglomerados se encuentran compactos. La granulometría predominante de estos materiales es del orden de limos y arcillas. Los pozos más productivos se localizan en las zonas fracturadas. La calidad química de las aguas es generalmente buena. Se puede obtener cierta producción en pozos individuales (Atlas Ambiental de Panamá 2010, mapa Hidrogeológico 1: 1,700,000).

### **3. Caracterización del perfil y muestras de suelo**

#### **(a). Caracterización del perfil de suelo**

Para la caracterización morfológica, del sitio donde se instaló el ensayo, se utilizó la metodología propuesta en el manual para la caracterización del suelo y del terreno del Soil Survey Staff (1993) y para la clasificación del suelo en orden, suborden, grande grupo, subgrupo y familia se realizó con la clave taxonómica del Soil Survey Staff (2010). Para ello se excavó una calicata a una profundidad de 1.60 metros en condiciones naturales obteniéndose cinco muestras del pedón del suelo para la clasificación taxonómica y determinar los parámetros físicos y químicos. La temperatura del suelo se registró en la sección de control a los 50 centímetros debajo de la superficie del suelo. Para registrar la descripción del sitio, se describieron los siguientes aspectos:

#### **(b). Erosión sufrida**

Se verificaron los signos de erosión que incluyen cárcavas, surcos, desarrollo de pedestales, afloramientos de rocas madres y áreas expuestas de subsuelo.

#### **(c). Historia de uso del suelo**

Se describió el manejo, pasado y presente, de las tierras y cultivos en los últimos cinco años, método de preparación de los suelos, volumen y método de fertilización, uso previo y nivelado de tierras.

#### **(d). Pendiente y aspectos topográficos del predio**

Se realizó un levantamiento altimétrico detallado en cada parcela experimental de escorrentía.



**(e). Localización del lote y de las áreas de muestreo**

Se determinarán las coordenadas Geográficas y UTM con un GPS, indicando la ubicación y altitud del sitio donde se realizó el experimento.

**(f). Ubicación de áreas ecológicamente sensibles**

Se localizó la red de drenaje, lagunas, cauces, zonas muy húmedas y otros sitios ecológicamente frágiles adyacentes al predio en cuestión.

**4. Métodos analíticos y cálculos para las propiedades físicas del suelo**

**(a). Preparación de las muestras**

Las diferentes muestras de suelo tomadas bajo condiciones iniciales del ensayo fueron colocadas en bandejas limpias, secadas al aire, trituradas, homogenizadas y pasadas por un tamiz de malla de dos milímetros, número diez para las determinaciones analíticas en el Laboratorio de Suelos del IDIAP CIA-Central y de la Facultad de Ciencias Agropecuarias.

**(b). Color**

Para la determinación del color, se utilizó el método estándar utilizando la tabla de Munsell (Black *et al.* 1965a y Munsell 2013). En Panamá, Villareal y Name (1996) hicieron estudios y encontraron que esta metodología es adecuada a los suelos panameños, basada en el matiz (hue), tonalidad (value) y la intensidad (chroma); para el cual se tomó una pequeña muestra de suelo en seco y luego en húmedo, colocándose en un vidrio reloj, pasándolo luego por las diferentes cartas de la tabla hasta conseguir el color indicado.

**(c). Textura**

En la determinación de la textura, se utilizó el método de Bouyoucos (1962) y triángulo

textural USDA (Black *et al.* 1965a). En Panamá, Villareal y Name (1996) hicieron estudios y encontraron que esta metodología es adecuada a los suelos panameños, ya que el propósito del análisis granulométrico con dos lecturas del hidrómetro es conocer en qué proporción se encuentran en el suelo las partículas de arena, limo y arcilla.

#### **(d). Densidad Aparente**

Esta propiedad se determinó a través del método del Cilindro (Black *et al.* 1965a y Forsythe 1980), en cada horizonte del perfil de suelo, con un cilindro de acero inoxidable con 4.5 centímetros de diámetro, cinco centímetros de altura y utilizando la siguiente ecuación:

$$Da = ms / v$$

Donde;

Da, corresponde a la densidad aparente de las partículas del suelo ( $\text{g cm}^{-3}$ ),

ms, es el peso de la muestra seca a 110 °C en el horno (g),

v, es el volumen del anillo ( $\text{cm}^3$ ).

#### **(e). Densidad real**

Esta característica se determinó con el método de Matraz aforado con alcohol (Black *et al.* 1965a y Forsythe 1980), utilizando una bureta de 50 centímetros cúbicos, un matraz volumétrico de 25 centímetros cúbicos y alcohol etílico; en las muestras de diez gramos tomadas en cada horizonte del perfil de suelo y utilizando la siguiente ecuación:

$$Dr = ms / (25 - vg)$$

Donde;

Dr, corresponde a la densidad real de las partículas del suelo ( $\text{g cm}^{-3}$ ),

ms, es el peso de la muestra seca a 105 °C en el horno (g),

25, es el volumen del matraz (cm<sup>-3</sup>),

vg, es el volumen de alcohol etílico gastado (cm<sup>-3</sup>).

#### **(f). Porosidad**

Esta propiedad del suelo, se determinó a partir de la Da y Dr resultante de las muestras de suelos de cada horizonte del perfil de suelo, utilizando la siguiente ecuación (Black *et al.* 1965a y Forsythe 1980):

$$E = (1 - Da / Dr) * 100$$

Donde;

E, corresponde a la porosidad total del suelo (%),

Da, corresponde a la densidad aparente de las partículas del suelo (g cm<sup>-3</sup>),

Dr, corresponde a la densidad real de las partículas del suelo (g cm<sup>-3</sup>).

#### **(g). Velocidad de Infiltración**

Para la caracterización de la infiltración, se utilizó el método del doble anillo concéntrico (Musgrave 1935) el cual es una técnica estándar para la medida directa de las tasas de infiltración del suelo (Johnson 1963 y Reynolds *et al.* 2002). Se realizaron tres lecturas para el horizonte Ap y tres para el horizonte Bt en condiciones de capacidad de campo.

Las lecturas del nivel del agua, se efectuaron con tiempo de cero minuto al inicio de la prueba y en lapsos de cada 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 120, 180 y 240 minutos, de forma homogénea en todos los ensayos, para evitar valores erróneos que puedan causar confusión al momento de realizar el trabajo de gabinete. Se calculó la

infiltración acumulada, instantánea, básica y promedio mediante la ecuación planteada por Kostiakov (1932) que expresa la infiltración en un punto.

➤ Infiltración acumulada ( $I_{cum}$ )

$$I_{cum} = at^b$$

Donde,  $I$  lámina de infiltración acumulada ( $\text{mm h}^{-1}$ ),

$a$ , coeficiente que representa la velocidad de infiltración a  $t=1$ ,

$b$ , exponente adimensional, negativo con valores entre 0 y -1 para suelos agrícolas.

➤ Infiltración instantánea ( $I_{inst}$ )

$$I_{inst} = (a \cdot b \cdot 60) t^{b-1}$$

Donde,  $I_{inst}$  infiltración instantánea ( $\text{mm h}^{-1}$ ),

$b$ , exponente sin dimensión siempre negativo y valor entre 0 y -1 para suelos agrícolas,

$a$  y  $b$ , parámetros que son determinados mediante la hoja logarítmica o regresión lineal,

$t$ , es el tiempo acumulado en minutos,

60, factor que transforma los minutos a hora.

➤ Infiltración básica ( $I_b$ )

$$I_b = a (-10 \cdot 60 b)^b$$

Donde,  $I_{inst}$  infiltración básica ( $\text{mm h}^{-1}$ )

$b$ , exponente sin dimensión siempre negativo y valor entre 0 y -1 para suelos agrícolas,

$a$  y  $b$ , parámetros que son determinados mediante la hoja logarítmica o regresión lineal,

-10 60, factor que transforma los minutos a hora.

➤ Infiltración promedio ( $I_p$ )

$$I_p = ((a \cdot b \cdot 60)/b) t^{b-1}$$

Donde,  $I_p$  infiltración promedio para toda la prueba ( $\text{mm h}^{-1}$ ),

a y b, parámetros que son determinados mediante la hoja logarítmica o regresión lineal, 60, factor que transforma los minutos a hora, t, tiempo que dura toda la prueba 240 minutos.

#### **(h). Estabilidad de los agregados**

Para determinar la estabilidad de los agregados del suelo, se utilizó el Método de Kemper y Rosenau (1986) modificado y del CIMMYT que cuantifica el porcentaje de agregados estables en el agua de tamaño menor a 0.25 milímetros, después de ser sometidos a un proceso de humectación y desagregación en agua. Los valores obtenidos se compararon con la estabilidad de los agregados de muestras pertenecientes a tres órdenes de suelo Vertisol, Alfisol y Molisol, evaluados durante el curso de Conservación de Suelos de la maestría en 2016.

### **5. Métodos analíticos y cálculos para propiedades químicas del suelo**

#### **(a). pH**

La actividad iónica del  $H^+$  en la suspensión del suelo, se evaluó a través de la acidez potencial en relación suelo: KCl-1N de 1: 2.5 (p: v) y acidez activa en relación suelo: agua de 1: 2.5 (p: v) (Black *et al.* 1965b). En Panamá, Villareal y Name (1996) realizaron estudios y encontraron que esta metodología se adecua a condiciones locales, determinada con el potenciómetro Crison pH meter GLP 22.

#### **(b). Carbono Orgánico Total**

Para la determinación del Carbono Orgánico Total (COT), se utilizó el método de Walkley-Black (Walkley y Black 1934) que consiste en la determinación de la materia

orgánica oxidable por dicromato; el exceso de dicromato es determinado por titulación con  $\text{FeSO}_4$  y la cantidad de materia oxidada es calculada de la cantidad de dicromato reducida.

Para convertir la materia orgánica a Carbono Orgánico Total, se utilizó el factor de conversión para suelos agrícolas de 1.724 propuesto por Van Bemmelen (1890), el cual asume que el 58 por ciento de la materia orgánica está compuesta por carbono (Tabatabai 1996, Eyherabide *et al.* 2014, Soil Survey Staff 2014); el resto es oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio y microelementos menor del uno por ciento.

#### **(c). Nitrógeno mineralizado**

El nitrógeno del suelo tiene dos componentes, nitrógeno orgánico y nitrógeno inorgánico. El nitrógeno orgánico mineralizado, se estimó utilizando el procedimiento descrito por Cuesta y Villaneda (2005) que definen que en 100 partes de materia orgánica de las muestras de suelo 20 partes corresponden al nitrógeno total. A pesar de la gran cantidad de nitrógeno que se encuentra en el suelo se estima que entre 1.5 y tres por ciento del nitrógeno total del suelo corresponde a nitrógeno inorgánico; usualmente se trabaja con 1.5 por ciento ó 0.015 de mineralización que representa la conversión de la forma orgánica a inorgánica, ya que es la forma fácilmente absorbida por las plantas.

#### **(d). Fósforo disponible**

Para determinar el fósforo disponible del suelo, se utilizó para su extracción el método de Mehlich-1 (Black *et al.* 1965b). En Panamá, Villareal y Name (1996) encontraron que para los suelos del país, esta metodología se adecua con la determinación colorimétrica del azul de molibdeno con el espectrofotómetro de luz visible.

Esta determinación consiste en la formación de compuestos de color azul de molibdeno provocada por el ácido ascórbico, para la medición fotométrica se utilizó un espectrofotómetro UV-visible-1203-Shimadzu.

**(e). Potasio, Sodio, Hierro, Cobre, Manganeso y Zinc**

Para la determinación de los nutrientes: potasio, sodio, hierro, cobre, manganeso y zinc del suelo, se utilizó el método extractor Mehlich-1 (0.05M HCl + 0.0125 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (Black *et al.* 1965b). Para las condiciones de los suelo de Panamá, Villareal y Name (1996) encontraron que esta metodología se adecua con la determinación por el método de Absorción Atómica. Luego de la extracción de los nutrientes disponibles en el suelo, las lecturas se realizaron con un espectrofotómetro de absorción atómica A-A-7000 Shimadzu.

**(f). Calcio y Magnesio**

La cantidad de macronutrientes de calcio y magnesio en el suelo, se determinaron mediante extracción con una solución de KCl-1N (Black *et al.* 1965b). En Panamá, Villareal y Name (1996) encontraron que esta metodología se adecua para la determinación de estos elementos, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica A-A-7000 Shimadzu.

**(g). Hidrógeno y Aluminio**

Para la determinación de hidrógeno y aluminio del suelo, se utilizó el método de Acides Intercambiable (Black *et al.* 1965b). En Panamá, Villareal y Name (1996) encontraron que esta metodología se adecua a las condiciones de nuestros suelos con la determinación por extracción con una solución de KCl-1N y determinación por titulación con hidróxido de

sodio (NaOH 0.01 N). Para estimar el  $\text{Al}^{3+}$  intercambiable, se volvió a titular con ácido clorhídrico (HCl) y, la diferencia entre los dos indicó el  $\text{H}^+$  intercambiable. El Cloruro de Potasio (KCl) con un ión desplazante ( $\text{K}^+$ ) provoca que los iones ácidos Aluminio ( $\text{Al}^+$ ) e Hidronios  $\text{H}^+$  pasen a la solución.

#### **(h). Salinidad del suelo**

La salinidad del suelo se determinó con el método de Conductividad Eléctrica del extracto del suelo (Black *et al.* 1965b, Allison *et al.* 1980). En Panamá, Villareal y Name (1996) realizaron estudios y encontraron que esta metodología se adecua a condiciones locales del suelo utilizando un conductímetro Crison GLP 32.

#### **(i). Capacidad de Intercambio Catiónica Efectiva**

Puesto que la capacidad de intercambio catiónica depende en parte del pH del suelo, principalmente para cargas negativas variables, su determinación debe efectuarse con soluciones que no modifiquen el pH natural. En consecuencia, la determinación más apropiada en suelos ácidos, se realizó por el método de sumatoria de cationes de cambio y la acidez intercambiable (Chapman 1965).

### **6. Preparación del terreno y manejo agronómico de los materiales vegetativos**

#### **(a). Preparación del terreno**

La preparación excesiva del suelo en el cultivo de piña, es uno de los factores principales que, contribuye a la pérdida de suelo por erosión hídrica en zonas con lluvias de alta intensidad. Para la preparación del terreno en el sitio del experimento, se utilizó un tractor de 298 caballos de potencia. El orden de las labores de preparación del terreno fue, la



limpieza, dos pase con el subsolador a favor de la pendiente, un pase con la rastra, un pase con el subsolador perpendicular al primero, dos pases con la rastra dejando el suelo suelto y finalmente, el encamado (Figura 2).



**FIGURA 2. FASES DE PREPARACIÓN DEL TERRENO EN EL SITIO DEL EXPERIMENTO.**

#### **(b). Siembra de la semilla de piña**

El sistema de producción agrícola evaluado fue el cultivo de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr.) híbrido MD-2. En la selección de la semilla, se eligieron los hijos basales, los

cuales nacen en la base del pedúnculo y se caracterizan por su viabilidad como semilla, con un peso promedio de 500 gramos para la siembra. Con un mes de antelación a la realización del ensayo, las semillas fueron tratadas químicamente y sembradas manualmente, depositando el material en los hoyos, previamente dispuestos dentro de las camas, utilizando un cordel y cinta métrica con una distancia de siembra de 0.30 metros entre plantas, en doble hileras y 1.10 metros de distancia entre centro de cama a centro de cama, para obtener una densidad de 60,000 plantas por hectárea.

**(c). Siembra de las barreras vivas**

Los materiales vegetativos que se utilizaron como barreras vivas fueron vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) y hierba limón (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf). A estos materiales vegetativos se les cortaron las puntas de las hojas y de la raíz, dejando 20 centímetros de hoja y 15 centímetros de raíz, siguiendo el procedimiento propuesto por Cruz Fernández (2005). Luego de recortados, fueron cultivados con dos meses de anticipación a la realización del ensayo (Andrade *et al.* 2002). En el primer mes, los macollos se cultivaron en bolsas de polietileno de 15 centímetros por 23 centímetros con un sustrato compuesto por 50 por ciento de suelo de aluvión y 50 por ciento compost, ubicados en un vivero a un espaciamiento de 15 centímetros por 15 centímetros entre plantas.

Los macollos se establecieron conservando las condiciones del vivero uniforme y en un número doble a la cantidad necesaria para poder seleccionar el material de siembra uniforme, saludable y obtener suficientes plantas para reemplazar sin demora cualquier pérdida en el sitio de la plantación (Wood y Burley 1995). Posteriormente, las plántulas

fueron establecidas en el extremo inferior de las parcelas experimentales, aguas arriba del colector de metal de escorrentía, sembradas en hilera sencilla con una distancia de separación de 15 centímetros dentro de las hileras y perpendicular a la pendiente.

**(d). Aplicación de fertilizantes**

Se realizaron tres aplicaciones fraccionadas de abono completo 12-24-12, la primera, a los 20 días después de la siembra, con una dosis de 12 gramos por planta o su equivalente 720 kilogramos por hectárea, la segunda, a los 80 días después de la siembra y finalmente, a los 140 días después de la siembra, a razón de 14 gramos por planta o su equivalente 840 kilogramos por hectárea.

Es comúnmente aceptado que la piña por ser del metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), plantas con transpiración y fijación nocturna del dióxido de carbono (Medina *et al.* 1976), absorbe los nutrientes por las hojas (Py *et al.* 1987) y en aplicaciones foliares (Swete-Kelly 1993). Además, el uso de penetrantes orgánicos y/o aminoácidos ayuda a una mejor absorción de los nutrientes.

Las aplicaciones foliares en el sitio del ensayo, se realizaron en horas de la mañana, entre las seis y ocho de la mañana. Estos periodos del día presentan mayor disposición de humedad en el suelo, temperaturas más bajas, mayor humedad relativa y viento con menor intensidad que favorecen una rápida absorción de los productos aplicados.

El equipo que se utilizó para las aplicaciones foliares consisten en una pulverizadora de arrastre Jacto de 3000 litros de capacidad, con brazo hidráulico y boquillas aspersoras de tres bares de presión, caudal de 1.60 litros por minuto y presión de trabajo de 120 libras cuadradas por pulgada de presión, adaptado a un tractor de 100 caballos de fuerza. Los

fertilizantes foliares fueron aplicados un mes después de la siembra y luego a intervalos de cada 22 días (Cuadro 6).

**CUADRO 6. FERTILIZANTES GRANULADOS Y FOLIARES APLICADOS EN EL CULTIVO DE PIÑA.**

Producto Comercial	Ingredientes activos	Dosis en 3000 L de agua ha <sup>-1</sup>
Urea	46% N	90 kg
Abono complejo	12 % N - 18% K <sub>2</sub> O - 11% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 2.7% MgO - 0.015 % B - 8% S - 0.02% Zn - 0.2% Fe - 0.02 % Mn	45 kg
Abono NPK	20 % N - 20% K <sub>2</sub> O - 20% P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	25 kg
Corrector de carencia	33% CaO + 1.5% B	4 L
Extracto Húmico	8% Ácidos húmicos + 8% Ácidos fúlvicos+ 3.5% K <sub>2</sub> O	4 L
Enmienda húmica	7% Ácidos húmicos + 8% Ácidos fúlvicos	5 L
Abono PK	42 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> – 28 % K <sub>2</sub> O	3 L
Bioestimulante (enraizador)	6.4% N + 27.8% aminoácidos libres	5 L
Optimizador de abonos	10 % K <sub>2</sub> O	2 L
Sulfato de Magnesio	32% Mg + 18% S	25 kg
Sulfato de Zinc	21 % Zn + 11% S	3 kg
Proteinato de Cobre	32 SO <sub>4</sub> Cu + 8.0% Cu + 3.2% N orgánico + 19.4% Aminoácidos + 0.1% Vitamina B1	4 L

Fuente: generado por la presente investigación.

**(e). Control de malezas**

Para el control de maleza se mezcló y aplicó Quizalofop-p-etil, Diurón y Atrazina en dosis de tres litros por cada 3000 litros de agua, nueve litros por cada 3000 litros de agua, nueve litros por cada 3000 litros de agua respectivamente por hectárea; a los 30 días después de la siembra y dos veces al año. Luego se realizaron tres deshierbes manuales para eliminar la maleza que sobrevivió a la acción química.

#### **(f). Control de plagas**

A los 60 días, después de la siembra, se aplicó Terbufos, producto de uso restringido; a razón de diez gramos por planta. Luego, se utilizaron un fungicida y dos insecticidas de acuerdo a la presencia y tipo de plaga; estos son Metalaxil, Diazinon y Clorpirifos, respectivamente y, en dosis de cinco kilogramos por cada 3000 litros de agua, cuatro litros por cada 3000 litros de agua, tres litros por cada 3000 litros de agua, respectivamente por hectárea.

### **7. Caracterización de la lluvia**

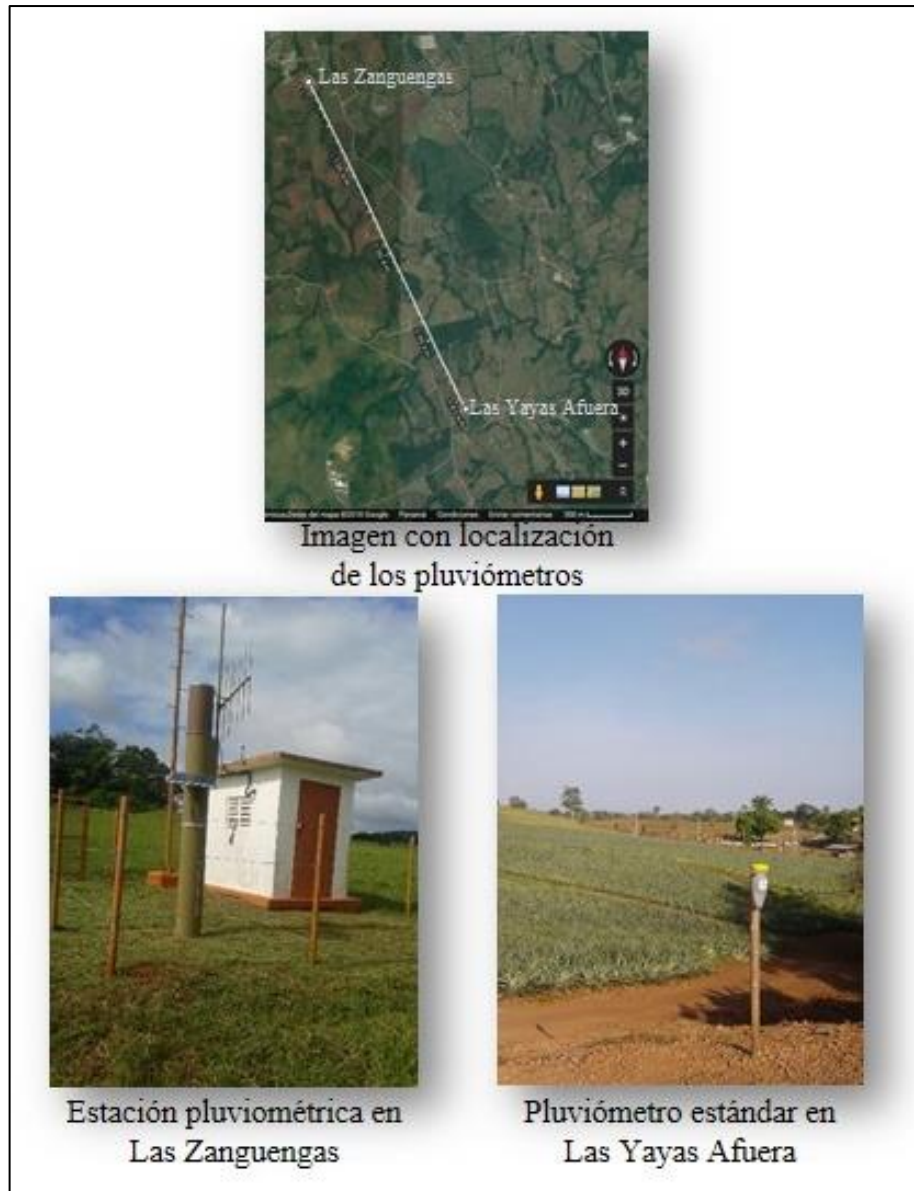
El experimento se ubicó regionalmente en la vertiente del Pacífico y la precipitación se registró con un pluviómetro estándar de lectura directa con capacidad de 136 milímetros y un pluviógrafo operado por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), para determinar la erosividad de las lluvias (Figura 3).

#### **(a). Registro de la lluvia en el sitio del experimento**

En el sitio del experimento, se instaló un pluviómetro estándar de lectura directa con capacidad de 136 milímetros. Las dimensiones del pluviómetro estándar permitieron recoger lluvias superiores a los 100 milímetros, considerando un margen de seguridad. Además, no se permitió el llenado completo del recipiente pluviométrico, para evitar el desborde del agua y la consecuente pérdida de la información.

El pluviómetro se instaló siguiendo indicaciones establecidas para los pluviómetros estándar, esto es en lugares despejados, a 15 metros alejado de obstáculos, en un poste de madera nivelado y a una altura de 1.50 metros del suelo. Las lecturas se realizaron diariamente a las ocho de la mañana y se expresaron en milímetros de agua (mm), que

equivalen a un litro de agua que se acumularía en una superficie plana e impermeable de un metro cuadrado.



**FIGURA 3. ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA Y PLUVIÓMETRO ESTÁNDAR UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO.**

#### **(b). Registro de la intensidad de las lluvias**

Para determinar la intensidad de las lluvias, se utilizó la información pluviométrica de la estación telemétrica “Las Zanguengas”, del tipo convencional automática, con código

115 - 25, ubicada entre las coordenadas de 08° 57' 17'' de Latitud Norte y 79° 52' 01'' de Longitud Oeste, con una elevación de 110 metros sobre el nivel del mar, operada por la ACP y ubicada a 3.83 kilómetros de distancia del sitio del experimento

## **8. Cálculo del factor de erosividad de las lluvias**

Para calcular el factor de erosividad anual de las lluvias (R), se utilizó el método de Wischmeier y Smith (1978) y mejorado por Renard *et al.* (1997), con los registros de las precipitaciones horarias y de 30 minutos, suministradas por el pluviógrafo de la estación telemétrica Las Zanguengas, para los años 2016 y 2017.

### **(a). Intensidad de las lluvias**

Para calcular la intensidad de las lluvias se utilizó la siguiente ecuación;

$$I_{30} = (60/30) \cdot ppt_{30}$$

Donde  $I_{30}$ , es la mayor intensidad de lluvias en un periodo de 30 minutos (mm/hr),

60/30, equivale al factor para transformarla a horas,

$ppt_{30}$ , equivale a la sumatoria de la mayor precipitación en 15 minutos con la mayor precipitación próxima en 15 minutos, antes o después, para ese mismo día (mm).

### **(b). Precipitación acumulada**

Se calculó la precipitación acumulada para cada día, con la siguiente expresión;

$$ppt \text{ acumulada} = \Sigma ppt \text{ acumulada}$$

Donde  $ppt \text{ acumulada}$ , es la precipitación acumulada (mm)

$\Sigma ppt \text{ acumulada}$ , es la sumatoria de los datos de precipitación por día (mm)

### **(c). Tiempo acumulado**

Para el cálculo del tiempo acumulado se utilizó la siguiente expresión;

$\Delta$  (hr) = tiempo final (hora en notación decimal) – tiempo inicial (hora en notación decimal).

$\Delta$ , es la diferencia del tiempo (hr).

Para los días en los que solo se registró un solo evento de precipitación, esta tuvo un promedio equivalente a la precipitación acumulada y registrada, dividido entre una hora.

### **(d). Intensidad promedio de la lluvia**

Para el cálculo de la intensidad promedio se usó la siguiente ecuación;

$I \text{ promedio} = \text{ppt acumulada} / \Delta \text{ tiempo}$

Donde  $I$  promedio, es la intensidad promedio ( $\text{mm hr}^{-1}$ ),

ppt acumulada, es la precipitación acumulada diaria (mm),

$\Delta$  tiempo, es la diferencia diaria de tiempo (h).

### **(e). Energía cinética**

Para el cálculo de la energía cinética de la lluvia, se utilizó la siguiente ecuación;

$Ec = 916 + (331 \cdot (\text{Log}_{10} I))$

Donde  $Ec$ , corresponde al valor de la energía cinética de la lluvia en pies toneladas por acre pulgadas,

$I$ , es el valor de la intensidad promedio de la lluvia ( $\text{cm h}^{-1}$ ).

Los trabajos originales de Wischmeier (1958) utilizaban unidades imperiales, lo que puede inducir a confusiones en el uso de las expresiones y nomogramas en circulación para



el cálculo de la R y de otros factores; por lo que dicha ecuación no se recomienda para el cálculo de unidades de energía (Renard *et al.* 1997).

Por otra parte, Foster *et al.* (1981) convirtieron esta ecuación al sistema métrico decimal de la siguiente forma para calcular la energía cinética;

$$Ec = 0.119 + (0.0873 \cdot (\log_{10} I))$$

Donde Ec, corresponde al valor de la energía cinética de cada lluvia ( $\text{MJ ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ ) cuando  $I$  promedio  $\leq 76$  mm,

I, es el valor de la intensidad promedio de la lluvia ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

$$Ec = 0.283$$

Donde Ec, corresponde al valor de la energía cinética de cada lluvia ( $\text{MJ ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ ) cuando  $I$  promedio  $> 76$  mm, ya que el tamaño de la gota de lluvia no continúa aumentando cuando las intensidades superan este valor (Foster *et al.* 1981 y Renard *et al.* 1997).

#### **(f). Erosividad mensual de las lluvias**

La ecuación propuesta para cuantificar el factor erosivo de las lluvias, debido a su intensidad, es la siguiente;

$$EI_{30} = (Ec \cdot \text{ppt acumulada}) \cdot I_{30}$$

Donde  $EI_{30}$ , es la erosividad total o factor R mensual de la lluvia ( $\text{MJ mm por ha}^{-1} \text{h}^{-1}$ ),

Ec, corresponde al valor de la energía cinética de la lluvia ( $\text{MJ ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ ),

ppt, es la precipitación acumulada en cada intervalo de tiempo (mm),

$I_{30}$ , es el valor de la intensidad máxima en treinta minutos del aguacero ( $\text{cm h}^{-1}$ ).

#### **(g). Factor de erosividad anual de la lluvia**

Para el cálculo de la erosividad anual de la lluvia, se utilizó la siguiente ecuación;

$$R = \Sigma EI_{30} / 100$$

Donde R, es el factor de erosividad anual de la lluvia (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>),

EI<sub>30</sub>, es la sumatoria de la erosividad total de la lluvia de todos los meses del año (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>),

100, factor para expresar las unidades de R, ya que está expresado en cientos de MegaJoules milímetros por hectárea hora.

## 9. Cálculo de pérdida de suelos

Para cuantificar la pérdida de suelo por erosión hídrica en el cultivo de piña, utilizando diferentes barreras vivas, siembra convencional y suelo desnudo, se instalaron 14 parcelas experimentales de escorrentía, siguiendo el procedimiento establecido por Lal (1988), utilizando la lluvia natural, ubicadas a favor de la pendiente, ajustadas para una condición de diez por ciento de pendiente promedio, de 11 metros de longitud de plano inclinado y 1.80 metros de ancho.

Se les instalaron chapas de plástico, sobrepuestas a unos 30 centímetros desde el nivel del suelo y con 15 centímetros de profundidad para delimitar el área de la parcela experimental. Luego, un colector metálico unido a dos tanques de plástico con una tubería de policloruro de vinilo (PVC) SDR 41 de 50 milímetros de diámetro nominal, con el objetivo de coleccionar las pérdidas de suelo por efecto de la erosión hídrica.

Toda la escorrentía y sedimentos erosionados en las parcelas experimentales fueron colectadas en el primer tanque y luego a una altura de 0.80 metros de la profundidad del primer tanque se instalaron tres conectores de salida de 50 milímetros de PVC, de los cuales solo uno entra al segundo tanque de manera que en episodios extremos lo que se recogió

en el segundo tanque represento un tercio del total generado (Figura 4).



**FIGURA 4. PROCEDIMIENTO PARA EVALUAR LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA.**

Para determinar la pérdida de suelo, se utilizó la metodología propuesta por Da Veiga y Do Prado (1993), para ello se visitó con frecuencia semanal las parcelas experimentales de escorrentía durante la época lluviosa. Para cada periodo de muestreo, se evaluó la cantidad total de escorrentía y suelo erosionado. El valor acumulado durante la época lluviosa representó el valor anual.

Tras cada episodio erosivo, se colectaron escorrentía y sedimentos en botellas de un

litro plásticas transparentes y en duplicado. Los análisis de la escorrentía (agua + suelo) fueron efectuados en las muestras acumuladas por etapa del cultivo de piña. Después de decantar las muestras se procedió a sifonear el agua del recipiente de un litro, una vez eliminada la parte líquido, el residuo sólido se trasvaso a un vaso químico de 100 mililitros o 250 mililitros según el volumen de residuo recolectado, seguidamente se procedió a retirar una muestra de 30 mililitros del sobrenadante, vertiéndola en un recipiente adecuado (frasco de plástico de un litro), para luego almacenar en una nevera entre seis y diez grados Celsius.

**(a). Volumen de escorrentía en el tanque**

Se evaluó semanalmente, después de los episodios erosivos, en cada uno de los tanques de recolección, la altura del volumen escurrido. Para obtener el volumen de escorrentía en el primer tanque, se utilizó la siguiente fórmula:

$$VT = (\pi \cdot r^2 \cdot h) \cdot 1000$$

Donde;

VT, corresponde al volumen de escorrentía del tanque (L),

$\pi$ , 3.1416 es el valor numérico de la relación entre la longitud de la circunferencia y su diámetro,

$r^2$ , es el radio al cuadrado del tanque (m),

h, es la altura del volumen de escorrentía (m),

1000, es el factor de conversión de metros cúbicos a litros.

El volumen de escorrentía que se recogió en el segundo tanque corresponde a una fracción del excedente de agua proveniente del primer tanque. Esta fracción está

determinada por el número de salidas que une al primer tanque con el segundo. La cantidad de salidas en el segundo tanque son tres, por ende el volumen de escorrentía recogido en el segundo tanque se multiplicó por tres.

**(b). Peso de suelo seco**

Se obtuvo del peso del residuo sólido contenido en las muestras de un litro de escorrentía recolectadas, luego de cada episodio erosivo y secado al horno a 120 grados Celsius; por dos días hasta que el agua se evaporó en su totalidad. Se determinó, utilizando la siguiente ecuación:

$$PSS = PVS - PV$$

Donde;

PSS, se refiere al peso del suelo seco (kg),

PVS, es el peso del vaso químico con suelo seco (kg),

PV, es el peso del vaso químico de 100 mililitros o 250 mililitros según el volumen de residuo recolectado (kg).

**(c). Concentración de suelo**

La concentración de suelo erosionado en las botellas de plástico de un litro, se obtuvo con el uso de la siguiente ecuación:

$$CST = PSS / VB$$

Donde;

CST, se refiere a la concentración del suelo ( $\text{kg L}^{-1}$ ),

PSS, es el peso del suelo seco (kg),

VB, es el volumen de la botella de muestreo (L).

**(d). Cantidad de suelo perdido**

La cantidad de suelo perdido en un área de 19.8 metros cuadrados de la parcela experimental se determinó con el uso de la siguiente ecuación:

$$PST = CST \cdot VT$$

Donde;

PSB, corresponde a la pérdida de suelo del tanque (kg),

CST, es la concentración de sedimento del tanque ( $\text{kg L}^{-1}$ ),

VT, es el volumen de escurrimiento del tanque (L).

Luego el valor de pérdida de suelos se extrapola a una superficie de una hectárea y se transforma a toneladas por hectárea.

**(e). Efectividad de control de suelo**

La efectividad de control de suelo con el uso de las barreras vivas se obtuvo con el uso de la siguiente ecuación:

$$ESC = \frac{SEC - SET}{SEC} \cdot 100$$

Donde;

ESC, efectividad de suelo controlado (%),

SEC, suelo erosionado en el control (t),

SET, suelo erosionado por tratamiento (t).

**10. Cálculo de pérdida de nutrientes por erosión hídrica**

A partir del primero de agosto de 2016 hasta el 31 de julio de 2017, se realizaron colectas de suelo erosionado y agua de escurrimiento. Para cuantificar las pérdidas de Carbono Orgánico Total, macro y micronutrientes (N, P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn) por

erosión hídrica, se utilizó la metodología descrita por Da Veiga y Do Prado (1993), el cual se fundamentó en determinar la pérdida de nutrientes acumulada al final etapa vegetativa y reproductiva.

Las muestras de suelo secas, tomadas durante el ciclo del cultivo de piña, fueron guardadas en envases plásticos rotulados de 750 mililitros con tapa hermética. Luego el suelo recolectado fue homogenizado y se extrajo una muestra por parcela experimental, en las cuales se realizaron los análisis químicos para determinar el contenido de Carbono Orgánico Total, N, P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn. Estos valores se multiplicaron por el total de suelo perdido por año en cada parcela, para determinar la cantidad total de nutrimentos acumulados en kilogramo por hectárea perdidos por erosión hídrica.

Se tomaron muestras de 30 mililitros de agua de escorrentía, provenientes de los tanques colectores, después de cada evento de lluvia y fueron guardadas en envases plásticos rotulados de un litro con tapa hermética dentro de un refrigerador a una temperatura entre seis y diez grados Celsius. Al final del ciclo del cultivo, el contenido del envase se homogenizo y se tomó una muestra por parcela, en las cuales se realizaron análisis químicos de Carbono Orgánico Total, N, P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn. La pérdida de nutrimentos por escorrentía en kilogramos por hectárea, se determinará en otro estudio relacionando la concentración de nutrimentos en el agua con el volumen total de escorrentía en cada parcela.

#### **(a). Cantidad de Carbono Orgánico Total**

La cantidad de Carbono Orgánico Total se determinó con el uso de la siguiente ecuación:

$$PCOT = (M.O/100) / 1.724) \cdot PS$$

Donde PCOT, se refiere a la cantidad de Carbono Orgánico Total (kg ha<sup>-1</sup>),

M.O, corresponde a la materia orgánica en suelo (%),

1.724, valor habitualmente empleado para la conversión de materia orgánica a Carbono Orgánico Total, el cual asume que el 58 por ciento de la materia orgánica está compuesta por carbono (Schulze 1949, Tabatabai 1996),

PS, se refiere al peso del suelo erosionado (kg ha<sup>-1</sup>).

#### **(b). Nitrógeno total**

La cantidad de nitrógeno total se determinó con el uso de la siguiente ecuación:

$$NT = M.O. / 20$$

Donde NT, se refiere al nitrógeno total (%),

M.O, corresponde a la materia orgánica en suelo (%),

20, por definición 100 partes de materia orgánica en el suelo, 20 corresponden al nitrógeno total (Cuesta y Villaneda 2005).

#### **(c). Nitrógeno asimilable**

El nitrógeno asimilable se calculó con el uso de la siguiente ecuación:

$$NA = NT \cdot 0.015$$

Donde NA, equivale al nitrógeno asimilable (%),

NT, se refiere al nitrógeno total (%),

0.015, factor para transformar el nitrógeno total a nitrógeno inorgánico asimilable por las plantas (Cuesta y Villaneda 2005).



**(d). Cantidad de nitrógeno asimilable**

La cantidad de nitrógeno asimilable se calculó con el uso de la siguiente ecuación:

$$CNA = (NA / 100) \cdot PS$$

Donde CNT, se refiere a la cantidad de nitrógeno asimilable ( $\text{kg ha}^{-1}$ ),

NA, es el nitrógeno asimilable (%),

PS, se refiere al peso del suelo erosionado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

**(e). Cantidad de nutriente (P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn)**

La cantidad de nutriente perdido por erosión hídrica, se determinó utilizando la siguiente ecuación:

$$CE = ((1/1000000) \cdot Ce \cdot PS) \cdot FC$$

Donde CE, corresponde a la cantidad del nutriente perdido por erosión hídrica ( $\text{kg ha}^{-1}$ ),

1/1000000, es la relación de uno en un millón de partes,

Ce, cantidad de elemento según análisis de suelo (ppm),

PS, se refiere al peso de suelo erosionado ( $\text{kg ha}^{-1}$ ),

FC, factor de conversión entre el óxido del elemento y la forma elemental, para expresar los resultados en unidades de fertilizantes, los cuales representan los kilogramos de cada elemento nutritivo ( $\text{P}_2\text{O}_5 = 2.29$ ,  $\text{K}_2\text{O} = 1.20$ ,  $\text{Na}_2\text{O} = 1.35$ ,  $\text{CaO} = 1.40$ ,  $\text{MgO} = 1.66$ ,  $\text{Fe} = 1$ ,  $\text{Cu} = 1$ ,  $\text{Mn} = 1$  y  $\text{Zn} = 1$ ).

**11. Diseño experimental**

Para evaluar las diferentes variables de los tratamientos en un sistema de producción comercial de piña MD-2, se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro

tratamientos y cuatro repeticiones, utilizando una sola pendiente del terreno de diez por ciento.

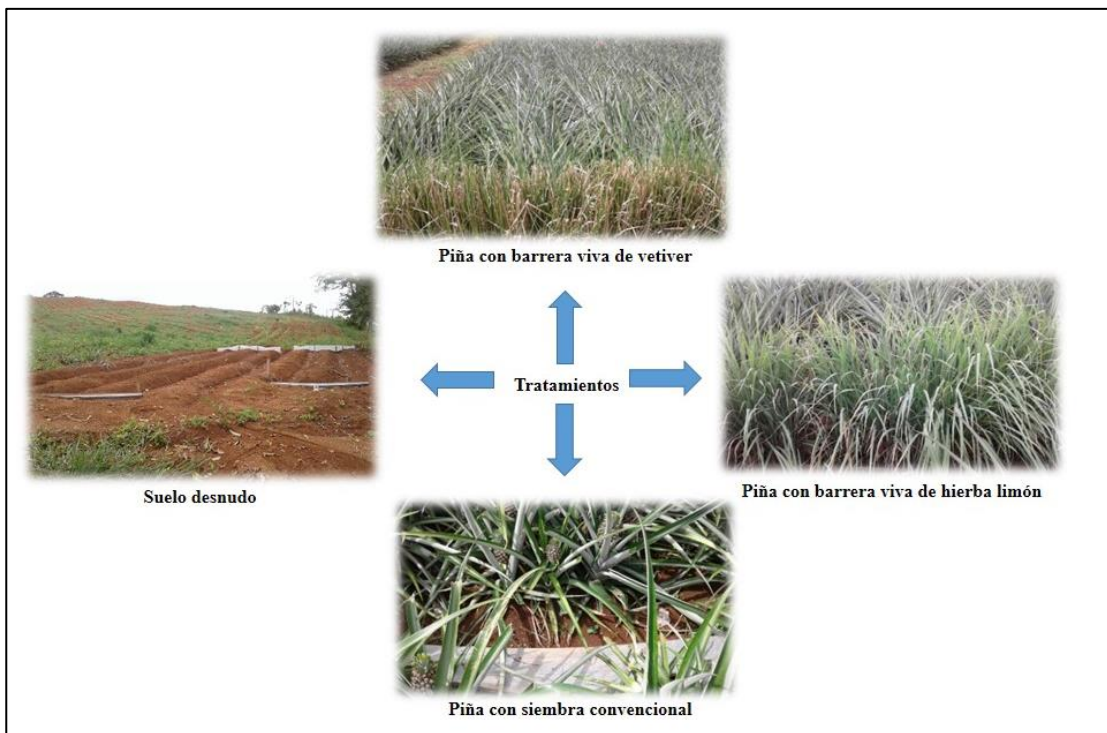
## **12. Tratamientos utilizados**

Los tratamientos se efectuaron bajo condiciones iniciales del ensayo en un sistema de producción comercial de piña MD-2 y cada tratamiento correspondió a las siguientes características (Figura 5):

- T1: Piña con barrera viva de hierba limón (*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf)
- T2: Piña con barrera viva de vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash)
- T3: Piña con siembra convencional sin barrera vivas (testigo positivo)
- T4: Suelo Desnudo (testigo negativo)

## **13. Características de las unidades experimentales**

La unidad experimental que se utilizó es la parcela de escorrentía, de 11 metros de largo por 1.80 metros de ancho (19.80 metros cuadrados), dejando un espacio de uno a dos metros entre parcelas y de dos a cuatro metros entre bloques; según las recomendaciones para los diseños de experimentos de escorrentía (Lal 1988). Cada parcela experimental tuvo constituida por dos camas y dos surcos de 11 metros de largo, con una densidad de 60,000 plantas por hectárea. Cabe señalar, que las unidades experimentales se ubicaron dentro de parcelas cultivadas de piña de 15.50 metros de ancho por 20 metros de largo.



**FIGURA 5. TRATAMIENTOS EVALUADOS EN EL SITIO DEL EXPERIMENTO.**

#### **14. Análisis estadístico.**

La información generada en campo sobre las variables estudiadas para cada tratamiento fue ingresada en una base de datos confeccionada con el programa Microsoft Excel 2010 y, posteriormente, exportados hacia el programa InfoStat versión 2017 (Di Rienzo *et al.* 2017). Luego, se realizaron análisis de varianza, prueba de hipótesis y comparación entre medias, usando la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) con un nivel de significancia del 95 por ciento (Steel *et al.* 1997).

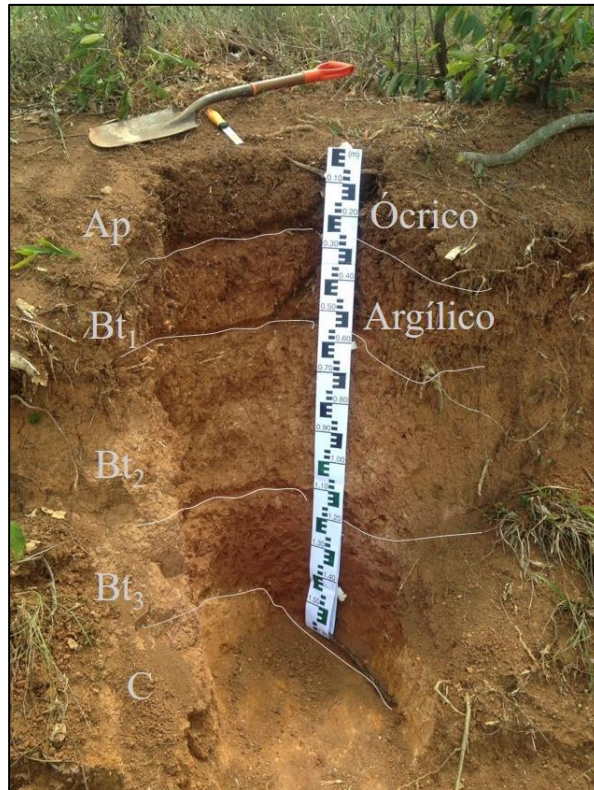
## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **1. Descripción del perfil de suelo**

Los resultados de la descripción del perfil de suelo en la zona del experimento ilustran el tipo de pedón de acuerdo al orden que pertenecen. La complejidad de la geología de la zona y el régimen de precipitación en la zona de estudio han definido los niveles de meteorización y lixiviación de estos materiales, produciendo suelos ácidos, lavados, con enriquecimiento de óxidos de hierro.

Las características más importantes encontradas en el diagnóstico de perfil de suelo, fueron la presencia de un epipedón ócrico más oscuro por la presencia de materia orgánica, seguido por un endopedón argílico de acumulación de arcilla, evidenciando el proceso de iluviación (Figura 6).

Para el perfil de suelo estudiado, el horizonte argílico, procesos de iluviación y saturación de bases menor del 35 por ciento a una profundidad de 1.60 metros lo categorizan en el Orden Ultisol por el Sistema de Clasificación Soil Taxonomy y refuta lo descrito por AED (2004b) que indica que los suelos del área en su mayoría pertenecen al orden Oxisol. Esta diferencia está asociada a las evidencias de lixiviación de la arcilla hacia un horizonte óxico (Bo), realizado con anterioridad y; en la actualidad no cumple todas las características requeridas para el orden Oxisol, según el sistema de clasificación de la USDA (2010).



**FIGURA 6. PERFIL DE SUELO CON HORIZONTES MORFOGENÉTICOS Y DE DIAGNÓSTICO EN EL SITIO DEL EXPERIMENTO.**

Luego, se agrupó en el suborden Humults, ya que presenta valores de Carbono orgánico entre 2.81 y 1.18 por ciento en los Horizontes Ap y Bt<sub>1</sub> respectivamente. A nivel de gran grupo, se clasificó en Haplohumult sin características diferenciadas dentro del grupo y Typic porque cumple todos los requisitos que definen el concepto central del gran grupo (Soil Survey Staff 2010). Finalmente, el perfil de suelo estudiado es un Ultisol Haplohumult Típico Serie Las Yayas.

Por otra parte, los matices predominantes son el 7.5 YR, 5 YR y 2.5 YR, el color pardo del horizonte superficial Ap está relacionado con el contenido de materia orgánica y los colores rojos amarillentos en los horizontes Bt, con los contenidos de óxidos de hierro (Cuadro 7).

## CUADRO 7. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DEL SUELO EN LAS YAYAS AFUERA.

Clasificación del suelo	Soil Taxonomy: Serie Las Yayas (Typic Haplohumult) FAO: Haplic, Acrisols (humic, Eutric/Dystric)	
Localización	Finca Hermanos Carrasco, Las Yayas afuera	
	Provincia de Panamá Oeste, Distrito de La Chorrera, Corregimiento de Herrera,	
Coordenadas	Geográficas: 8°55' 31.3'' N; 79°51' 2.6'' W	
	UTM: Huso 17P, 626357; 986796	
Altitud	131 ms. n.m.	
Relieve y drenaje	Cuerpo de colinas, bien drenada	
Material Parental	Rocas ígneas extrusivas basálticas, andesíticas de la formación Tucué	
Pendiente	0 – 20 %	
Régimen de Humedad	Údico	
Régimen de temperatura	Isohipertérmico 27 °C	
Pedregosidad	Pocos afloramientos rocosos y de gravas	
Profundidad efectiva	Más de 100 cm	
Horizontes de Diagnóstico	Epipedón Ócrico y Endopedón Argílico	
Uso de Suelo Anterior	Pasto ( <i>Brachiaria humidicula</i> )	
Uso Actual	Cultivo de Piña ( <i>Ananas comosus</i> )	
Descrito por	José Isaac Mejía Gutiérrez, Rolando Sánchez Diez	
Fecha	15/02/18	
Descripción de los horizontes		
Horizonte	Profundidad (m)	Descripción
Ap	0.0 - 0.30	Color pardo oscuro (7.5YR 3/4) en húmedo; textura arcillosa; estructura de bloques subangulares finos; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástico, ligeramente adherente, no coherente en seco; poros abundantes y finos; raíces muy abundantes muy finas, finas, medias y gruesas; límite claro y plano.
B <sub>t1</sub>	0.30 - 0.60	Color rojo amarillento (5YR4/6) en húmedo; textura arcillosa; estructura de bloques subangulares fina; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástico y ligeramente adherente en mojado, poco compacto en seco; pocos poros medios; raíces frecuentes, muy finas, finas y medias; límite claro y ondulado.
B <sub>t2</sub>	0.60 - 1.10	Color rojo amarillento (5YR4/6) en húmedo; textura arcillosa; estructura de bloques subangulares fina; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástico y ligeramente adherente en mojado, poco compacto en seco; muy pocos poros finos; pocas raíces finas y medias; límite claro y ondulado.
B <sub>t3</sub>	1.10 - 1.40	Color rojo (2.5YR4/6) en húmedo; textura arcillosa; estructura de bloques subangulares fina; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástico y moderadamente adherente en mojado, compacto en seco; muy pocos poros finos; muy pocas raíces, finas y medias; límite claro y lobulado.
C	1.40 - 1.60	Color pardo oscuro (7.5YR5/6) en húmedo; textura franco arcillosa; estructura de bloques subangulares fina; consistencia friable en húmedo, ligeramente plástico y moderadamente adherente en mojado, muy compacto en seco; muy pocos poros finos; límite claro y discontinuo.

Fuente: generado por la presente investigación

## 2. Propiedades químicas del perfil de suelo

Los resultados de las propiedades químicas del perfil de suelo resaltan las características del orden Ultisol al cual pertenecen (Cuadro 8).

**CUADRO 8. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL PERFIL DE SUELO EN EL SITIO DEL EXPERIMENTO.**

Parámetro	Unidades	Horizontes				
		Ap	Bt <sub>1</sub>	Bt <sub>2</sub>	Bt <sub>3</sub>	C
Profundidad	m	0.0 - 0.30	0.30 - 0.60	0.60 - 1.10	1.10 - 1.60	1.40 - 1.60
pH H <sub>2</sub> O 1:2.5	-	5.32	5.45	5.44	5.32	5.1
pH KCl 1 : 2.5	-	4.03	3.99	3.93	3.84	4.05
Materia Orgánica	%	4.85	2.04	0.89	0.51	0.38
Carbono orgánico	%	2.81	1.18	0.52	0.30	0.22
Fósforo disponible	ppm	4	2	2	2	2
<b>Bases de intercambio</b>						
K <sup>+</sup>	ppm	52	29	62	29	5
Ca <sup>2+</sup>	meq/100 g de suelo	3.62	2.57	0.44	0.00	0.00
Na <sup>+</sup>	ppm	61	47	83	53	41
Mg <sup>2+</sup>	meq/100 g de suelo	9.42	7.51	3.62	3.68	2.72
Bases total =	meq/100 g de suelo	13.45	10.37	4.59	3.99	2.91
<b>Acidez del suelo</b>						
M.O.	meq/100 g de suelo	9.70	4.08	1.79	1.02	0.77
Al <sup>3+</sup>	meq/100 g de suelo	1.10	2.30	3.80	7.80	2.90
H <sup>+</sup>	meq/100 g de suelo	0.70	0.70	1.30	1.60	0.80
Acidez total =	meq/100 g de suelo	11.50	7.08	6.89	10.42	4.47
<b>Micronutrientes</b>						
Fe <sup>2+</sup>	ppm	83	44	13	20	11
Cu <sup>2+</sup>	ppm	10	7	8	10	5
Mn <sup>2+</sup>	ppm	81	26	0	0	0
Zn <sup>2+</sup>	ppm	13	2	2	1	1
Capacidad de intercambio catiónico efectiva	meq/100 g de suelo	24.95	17.45	11.48	14.41	7.38
Saturación de bases	%	53.91	59.41	40.01	27.69	39.47
Saturación de Aluminio	%	4.40	13.18	20.73	54.12	39.29
Conductividad eléctrica (Ce)	dS m <sup>-1</sup>	0.09	0.06	0.05	0.05	0.04

Fuente: generado por la presente investigación.

El horizonte Ap, con profundidad de cero a 0.30 metros, presentó mayor acumulación de macro y microelementos con valores altos; debido al porcentaje de materia orgánica y su mineralización, que son factores determinantes de disponibilidad en la solución de suelo.

#### **(a). pH**

En los datos de pH en agua (actual), no se observó diferencias importantes y los horizontes estudiados registraron una reacción muy ácida con valores de 5.32 a 5.1, los cuales están dentro del rango óptimo para el cultivo de piña. Para el pH en KCl (potencial), se incrementó la reacción ácida, con valores de 4.03 a 3.84 a medida que se profundizaba en el perfil de suelo. La diferencia de los valores del pH en agua y en KCl se debe a que en el caso de la suspensión del suelo en KCl, el potasio desplaza al  $\text{Al}^{3+}$  del complejo de cambio, con la consiguiente acidificación de la suspensión del suelo.

#### **(b). Materia orgánica**

La concentración de materia orgánica en los horizontes muestreados es variable, siendo mayor en el horizonte superficial Ap con 4.85 por ciento y su origen se puede explicar por las tasas de descomposición de los residuos vegetales y raíces provenientes de las pasturas de humidícola (*Brachiaria humidicula*); que por más de diez años fue el uso anterior del suelo. Los siguientes horizontes Bt<sub>1</sub> hasta el C, los niveles reportados de materia orgánica son bajos y decrecieron a medida que aumentó la profundidad del perfil de suelo con un rango desde 2.04 a 0.38 por ciento y están asociados a la poca descomposición de residuos vegetales.

#### **(c). Fósforo**

El fósforo disponible en los horizontes muestreados presentó niveles bajos y se encontraron valores desde cuatro partes por millón para el horizonte Ap y dos partes por millón en los horizontes Bt<sub>1</sub> hasta el C. Estos niveles se explican por la alta capacidad de fijación que tienen estos suelos, formación de complejo de esfera interna y la relación que



tiene el fósforo disponible con las fracciones de fósforo orgánico, el cual decrece con la profundidad del suelo por la disminución de la materia orgánica y de los fosfatos orgánicos (Fassbender y Bornemisza 1985).

**(d). Potasio**

En los horizontes Ap, Bt<sub>1</sub>, Bt<sub>3</sub> y C el contenido de potasio es bajo con valores de 52 a cinco partes por millón y con excepción del horizonte Bt<sub>2</sub> con alto contenido de potasio con 62 partes por millón. El contenido de potasio en este horizonte está relacionado con la presencia y meteorización de feldespatos, micas y arcillas 2:1; que cuando se hidratan por la humedad del suelo se expanden y liberan el potasio retenido en sus láminas.

**(e). Calcio**

El calcio, entre profundidades de cero y 0.6 metros, permitió que se encontraran valores entre 3.62 y 2.57 miliequivalentes en 100 gramos de suelo los cuales se consideran moderados. Por otra parte, a medida que se profundizaba en el perfil entre 0.6 y 1.60 metros, se encontraron trazas de este elemento. Estos valores se podrían atribuir a que la disponibilidad del calcio está afectada por el pH del suelo, el cual es muy ácido y la alta pluviometría que contribuyen con el arrastre y lixiviación de este elemento.

**(f). Magnesio**

En general, todos los horizontes presentaron niveles altos de magnesio y estos decrecieron a medida que la profundidad del perfil aumentaba. En el horizonte Ap, se encontró un valor de 9.42 miliequivalentes en 100 gramos de suelo y en los horizontes Bt hasta el C los valores variaron entre 7.51 y 2.72 miliequivalentes en 100 gramos de suelo.

Los niveles altos de magnesio, en los horizontes estudiados, están relacionados con la presencia de arcillas del tipo 2:1; que poseen una importante cantidad de magnesio en su composición y con la cantidad de materia orgánica en el suelo.

#### **(g). Aluminio**

El contenido de aluminio en el horizonte superficial Ap es menor con un valor de 1.10 miliequivalentes en 100 gramos de suelo, asociado al mayor contenido de materia orgánica que forman complejos muy fuerte con este elemento. En los siguientes horizontes Bt del perfil de suelo, se observa un incremento de  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  intercambiable en el complejo de cambio a medida que disminuye el pH hasta valores de ocho miliequivalentes en 100 gramos de suelo cuando el pH es igual a 5.1.

Esto se debe a que el aluminio forma parte de los complejos aluminosilicatos que liberan fácilmente el ion  $\text{Al}^{3+}$  a la solución del suelo y cuando disminuye del pH del suelo se incrementa la solubilidad del aluminio hasta llegar a ocupar más de la mitad de los sitios de intercambio iónico del suelo (Wallnöfer y Engelhardt 1995, Álvarez *et al.* 2005).

#### **(h). Hierro**

El hierro en el horizonte Ap presentó valores altos con 83 partes por millón y se debe a la meteorización de los minerales primarios a secundarios que liberan hierro soluble en la solución del suelo. Para el horizonte Bt<sub>1</sub>, los niveles son moderados con 44 partes por millón y disminuyen a mayor profundidad del perfil de suelo hasta llegar a 11 partes por millón. Estos niveles bajos en los horizontes Bt<sub>2</sub>, Bt<sub>3</sub> y C obedecen a los bajos contenidos de materia orgánica, a la acidez del suelo por altas concentraciones de aluminio extraíble y porque se encuentra adsorbido a los coloides del suelo.

**(i). Cobre**

Con respecto al cobre se encontraron valores altos entre diez a ocho partes por millón en los horizontes Ap, Bt<sub>1</sub>, Bt<sub>2</sub> y Bt<sub>3</sub>. Las altas concentraciones de cobre en el horizonte Ap se explican debido a que puede combinarse fácilmente con la materia orgánica, permaneciendo disponible, posiblemente en forma de complejos húmicos-cúpricos. Las bajas concentraciones de este elemento en el horizonte C pueden estar relacionadas con la adsorción de los óxidos de hierro y aluminio, formación de complejos de esfera interna que reducen su disponibilidad.

**(j). Manganeso**

Los valores más altos de manganeso se obtuvieron en el horizonte superficial Ap con 81 partes por millón, este efecto se explica por el mecanismos de disolución reductiva y a la fuerte afinidad por los complejos orgánicos y minerales que evitan su pérdida por lixiviación (Roca *et al.* 2007). Además, por la alta solubilidad que presentan los compuestos de manganeso bajo condiciones de pH ácidos.

Por otra parte, la disminución en el horizonte Bt<sub>1</sub> con 26 partes por millón y escasez en los horizontes Bt<sub>2</sub>, Bt<sub>3</sub> y C se atribuyen a que esté inmovilizado o porque se haya agotado por lixiviación.

**(k). Zinc**

En el horizonte Ap el contenido de zinc es moderado con un valor de 13 partes por millón y esta cantidad puede atribuirse a los residuos de plantas en descomposición y a los suelos de textura arcillosa que tiene contenidos altos de este elemento. Esta evidencia corrobora lo dicho por Kabata-Pendías (2001), que este elemento se puede unir a la materia

orgánica por medio de complejos de esfera externa y aumentar su disponibilidad para las plantas.

En los horizontes Bt<sub>1</sub>, Bt<sub>2</sub>, Bt<sub>3</sub> y C las concentraciones de zinc fueron bajas entre dos a una partes por millón y se explican por el aumento del pH que produce alta solubilidad en consecuencia más susceptible a la lixiviación. Además, porque se encuentre adsorbido en las estructuras cristalinas de los coloides del suelo, formando complejos de esfera interna estables.

#### **(l). Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva**

La Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva mostró valores medios en el horizonte Ap con valores de 24.95 miliequivalentes en 100 gramos de suelo y decrecieron a medida que se profundizaba en el perfil desde 17.45 miliequivalentes en 100 gramos de suelo en el horizonte Bt<sub>1</sub> a 7.38 miliequivalentes en 100 gramos de suelo en el horizonte C. Esta característica junto con la textura reflejan la baja capacidad de estos suelos para retener por mucho tiempo los cationes cambiables en su complejo de intercambio, exponiéndolos a procesos de lixiviación y arrastre en los periodos de la temporada lluviosa.

#### **(m). Saturación de bases**

Los horizontes Ap y Bt<sub>1</sub> presentaron porcentajes moderados para la saturación de bases con 54 y 59 por ciento respectivamente, como resultado del alto contenido de magnesio.

En los siguientes horizontes Bt<sub>2</sub>, Bt<sub>3</sub> y C, la saturación de base fue baja, debido a un material parental bajo en minerales meteorizables y al lavado de bases.

### (n). Saturación de aluminio

En el horizonte Ap, con una profundidad de cero a 0.30 metros, la saturación de aluminio fue baja con 4.40 por ciento, además, hay que recalcar que la piña tolera valores menores del 30 por ciento. Los valores de saturación de aluminio aumentaron a medida que se profundizaba en el perfil de suelo con 13 por ciento en el horizonte Bt<sub>1</sub>, 21 por ciento en el horizonte Bt<sub>2</sub>, 54 por ciento en el horizonte Bt<sub>3</sub> y 39 por ciento el horizonte C; independientemente de la profundidad, estos dos últimos valores superan los límites tolerables para el cultivo de piña.

### (o). Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica en todo el perfil del suelo presentó valores bajos de 0.09 a 0.04 deciSiemens por metro. Estos valores se encuentran en los niveles de conductividad eléctrica para el desarrollo de los cultivos, por lo que no se consideran problemas de salinidad y no se afecta el rendimiento del cultivo de piña económicamente.

## 3. Propiedades físicas del perfil del suelo

**CUADRO 9. PROPIEDADES FÍSICAS DEL PERFIL DE SUELO EN EL SITIO DEL EXPERIMENTO.**

Parámetro	Unidades	Horizontes				
		Ap	Bt <sub>1</sub>	Bt <sub>2</sub>	Bt <sub>3</sub>	C
Profundidad	m	0.0 - 0.30	0.30 - 0.60	0.60 - 1.10	1.10 - 1.60	1.40 - 1.60
Arena	%	32	3	5	5	25
Limo	%	26	24	40	31	42
Arcilla	%	42	73	55	64	33
Textura	Clase	Arcillosa	Arcillosa	Arcillosa	Arcillosa	Franco Arcillosa
Densidad aparente (Da)	g cm <sup>-3</sup>	1.03	1.22	1.33	1.31	1.45
Densidad real (Dp)	g cm <sup>-3</sup>	2.44	2.42	2.41	2.38	2.23
Porosidad (E)	%	57.79	49.75	44.85	45.10	35.09
Estabilidad de los agregados (Ea)	%	63.83	56.25	-	-	-

Fuente: generado por la presente investigación.

Las propiedades físicas del perfil de suelo se resumieron para cada horizonte evaluado y de acuerdo a su profundidad (Cuadro 9).

**(a). Textura**

Los horizontes estudiados presentaron una granulometría arcillosa, con 42 por ciento en el horizonte A. Luego, el contenido de arcilla se incrementó desde el horizonte Bt<sub>1</sub> con un valor de 73 por ciento, para luego disminuir con la profundidad hasta el horizonte C con 33 por ciento. Relacionando estos valores y la baja saturación de bases encontradas, puede estar dominado por arcillas caolinitas, óxidos de hierro y aluminio.

**(b). Densidad aparente**

Los valores de densidad aparente variaron entre 1.03 y 1.45 gramos por centímetro cúbico, en el horizonte Ap la densidad aparente tiende a ser menor con un valor de 1.03 gramos centímetros cúbicos, debido al mayor contenido de materia orgánica. Luego, los valores fueron incrementando al profundizar en el perfil, indicando una mayor compactación en los horizontes Bt con respecto al Ap.

**(c). Densidad real**

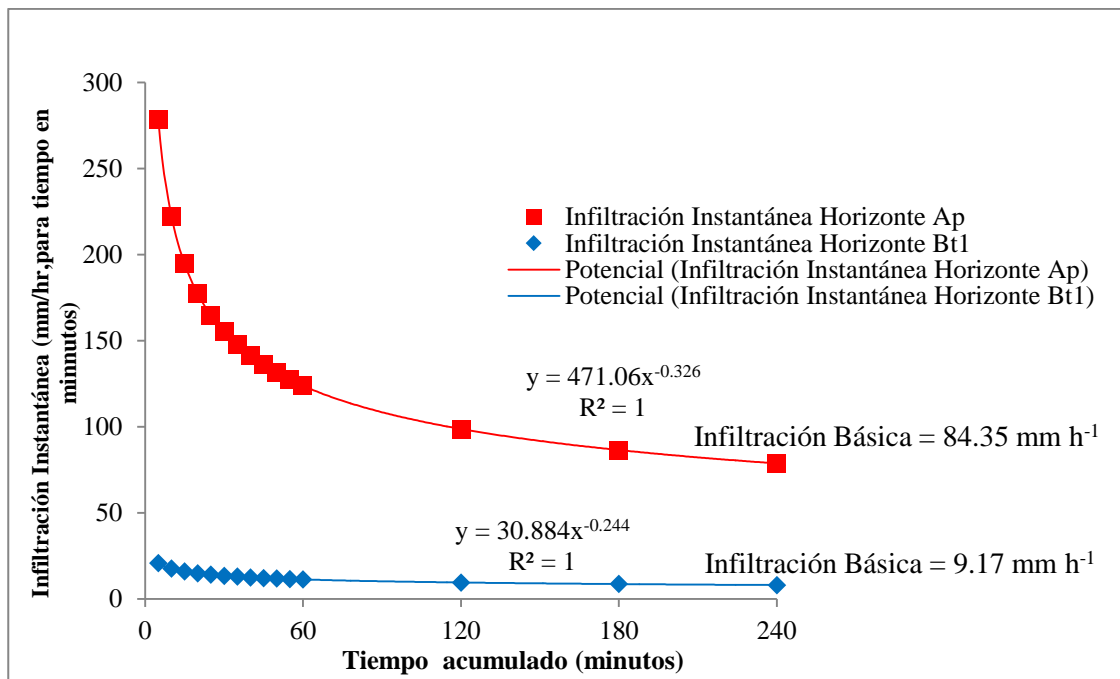
Con respecto a la densidad real (Dp), los horizontes mostraron valores entre 2.44 a 2.23 gramos por centímetro cúbico. El horizonte Ap, Bt<sub>1</sub>, Bt<sub>2</sub> mostraron valores similares con 2.44, 2.42 y 2.41 gramos por centímetro cúbico respectivamente. En comparación con los horizontes Bt<sub>3</sub> y el C que presentaron valores de 2.38 y 2.23 gramos por centímetro cúbico respectivamente. Para estas condiciones se podría asumir que son suelos fuertemente meteorizados, donde domina la Dp de la fracción mineral del suelo.

#### (d). Porosidad

El comportamiento de la porosidad a través del perfil de suelo, presentó un decrecimiento en los valores de esta propiedad a medida que se profundizo en el suelo, siendo mayor en el horizonte Ap con 57.79 por ciento debido al mayor contenido de materia orgánica y variando de 49.75 a 35.09 por ciento en los siguientes horizontes texturales.

#### (e). Velocidad de infiltración

De las tres observaciones en campo para cada horizontes Ap y Bt<sub>1</sub> se determinó el tiempo acumulado, Infiltración Instantánea, Infiltración Básica y la Infiltración Promedio.



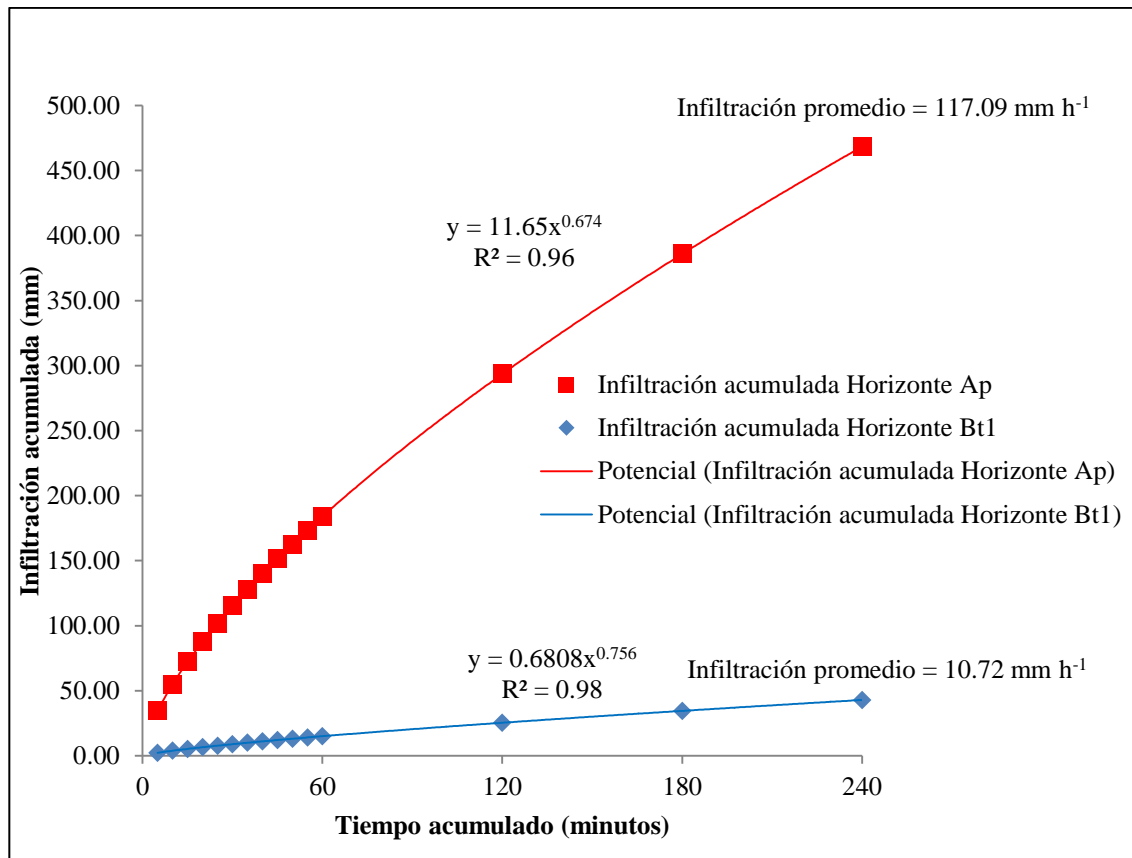
**FIGURA 7. GRÁFICAS DE INFILTRACIÓN INSTANTÁNEA E INFILTRACIÓN BÁSICA PARA LOS HORIZONTES Ap Y Bt<sub>1</sub> EN EL SITIO DEL EXPERIMENTO EN LAS YAYAS AFUERA.**

Según las ecuaciones de Kostiakov (1932), se muestran los resultados gráficos de las velocidades de infiltración básica en el sitio del experimento en la comunidad de Las Yayas Afuera (Figura 7). El mayor valor de infiltración básica se presentó en horizonte Ap con 84.35 milímetros por hora considerándose alta, en consecuencia de su baja densidad aparente, mayor contenido de arena, presencia de macroporos y alto contenido de materia orgánica, lo que nos permite inferir que es un horizonte no compactado.

El horizonte Bt presentó la menor infiltración básica con un valor de 7.79 milímetro por hora, debido principalmente a su alta densidad aparente, su alto contenido de arcilla, bajo contenido de arena, reducción de los macroporos y baja cantidad de materia orgánica en el perfil de suelo; lo que nos permite inferir que es un horizonte compactado. Estos resultados nos indican que al rebasar estos valores de infiltración básica por efecto de las lluvias intensas se provocará escorrentía superficial y lavado de nutrientes.

Los resultados de la infiltración acumulada para los horizontes Ap y Bt<sub>1</sub> en el sitio del experimento en las Yayas Afuera, siguiendo los parámetros del modelo Kostiakov (1932) y el método de regresión lineal muestran que los valores del coeficiente de correlación (R<sup>2</sup>) son altos entre 0.96 y 0.98, esto nos indica que el modelo lineal utilizado es adecuado para describir la relación que existe entre la infiltración acumulada y el tiempo acumulado (Figura 8).





**FIGURA 8. CURVAS DE INFILTRACIÓN ACUMULADAS E INFILTRACIÓN PROMEDIO PARA LOS HORIZONTES Ap Y Bt<sub>1</sub> EN EL SITIO DEL EXPERIMENTO EN LAS YAYAS AFUERA.**

La tendencia de las curvas sugieren la existencia de variabilidad entre el horizonte Ap y el Bt<sub>1</sub> provocadas por las propiedades hidrofísicas del suelo como el contenido de humedad, la textura, la densidad aparente y nivel de compactación, los cuales están influyendo en la capacidad de los horizontes del suelo para retener e infiltrar el agua. Por lo que podemos inferir que el horizonte Bt<sub>1</sub> presenta un nivel de compactación más alto que el horizonte Ap. Para intervalos de tiempo entre cero y 240 minutos, la infiltración promedio total para todo el experimento en el horizonte Ap fue de 117.09 milímetros por hora, mientras que en el horizonte Bt<sub>1</sub> el valor encontrado fue de 10.72 milímetros por hora.

Estos valores nos indican que son una característica que dependen de la compactación

del suelo en cada horizonte evaluado y que los suelos con alto contenido de materia orgánica tienen altas tasas de infiltración.

En los horizontes estudiados, tras aplicar el método del Número de Curva (USDA-NRCS 2004) se clasificaron en el grupo hidrológico C, suelos con escasa capacidad de infiltración una vez saturados. Su textura va de moderadamente franco arcillosa a arcillosa, incluyendo suelos que presentan horizontes someros bastante impermeables.

#### **(f). Estabilidad de los agregados**

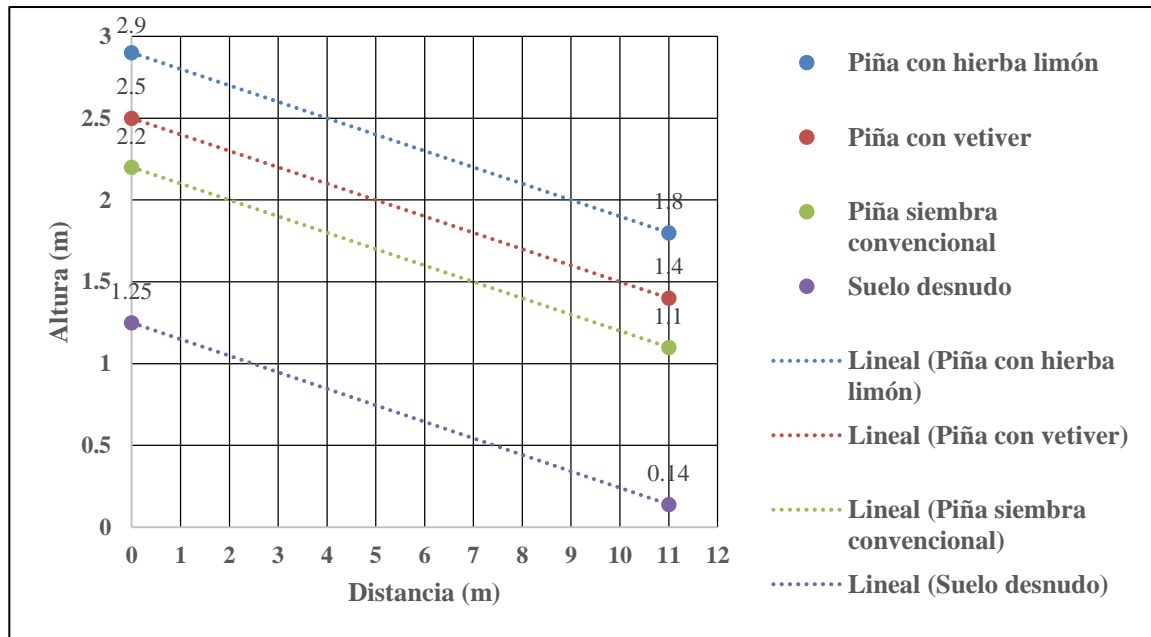
Los resultados del estudio revelan que los suelos Ultisoles del área presentan valores altos de estabilidad. Asimismo, el horizonte Ap presentó mayor porcentaje de estabilidad de agregados del suelo con un valor de 63.83 por ciento, debido al alto contenido de materia orgánica, altos contenidos de hierro y aluminio como es de esperarse; en comparación con muestras de un Vertisol con alta estabilidad de 79.10 por ciento, un Alfisol con 33.50 por ciento y un Molisol con 25.60 por ciento, siendo ambos de baja estabilidad.

En contraste, el horizonte Bt<sub>1</sub> presentó una baja estabilidad con un valor de 56.25 por ciento en consecuencia del mayor contenido de arcilla. En general, la estabilidad de los agregados es un indicativo de la erodabilidad del suelo, cumpliendo su función de estabilizar el horizonte superficial. En otras palabras, la erodabilidad del suelo aumenta a medida que la estabilidad de los agregados disminuye (Kemper y Rossenau 1986).

#### **(g). Perfiles topográficos de los tratamientos**

Luego de realizar un levantamiento altimétrico detallado en cada cama y surco dentro de cada parcela experimental de escorrentía por tratamiento y repetición, se registró el

promedio del porcentaje de la pendiente para cada tratamiento evaluado y corresponde como promedio general para el experimento de diez por ciento (Figura 9).



**FIGURA 9. PERFILES TOPOGRÁFICOS CON DISTANCIA Y ALTURAS EN METROS PARA CADA TRATAMIENTO DEL EXPERIMENTO.**

#### (h). Capacidad Agrológica

En el sitio del experimento, los suelos se clasifican en la Clase Agrológica IV, esta clase está compuesta por suelos con limitaciones permanentes y severas para el cultivo y pueden cultivarse ocasionalmente si se les trata con gran cuidado, pero deben limitarse a cultivos herbáceos (Cuadro 10). Con pendiente moderadamente ondulada entre los ocho a 15 por ciento, erosión sufrida moderada, profundidad efectiva superficial menos de 30 centímetros. Destacan los suelos someros a moderadamente profundos de baja fertilidad.

Los cultivos que pueden desarrollarse allí son muy limitados, pues presentan susceptibilidad severa a la erosión y procesos erosivos fuertes como surcos, cárcavas, solifluxión y remociones en masa.

**CUADRO 10. CAPACIDAD AGROLÓGICA DEL SUELO EN EL SITIO DEL EXPERIMENTO.**

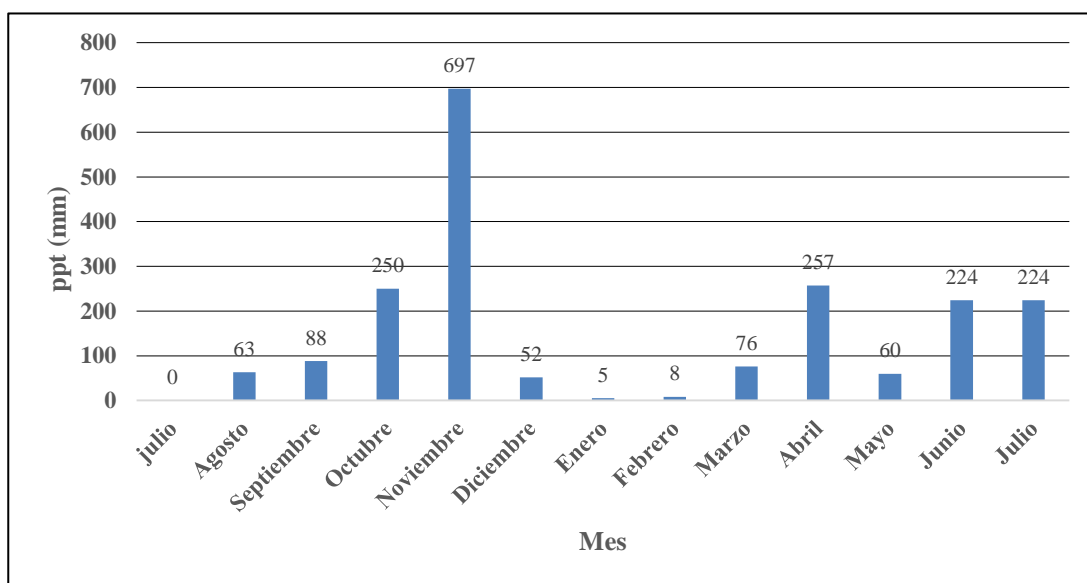
Características del suelo	Limitaciones
Clase Agrológica	Clase IV
Altitud	131 metros sobre el nivel del mar
Categoría de la pendiente	Clase D, moderadamente ondulado 8 a 15 por ciento.
Erosión sufrida	Moderada
Profundidad efectiva	Menos de 30 centímetros.
Textura del suelo	Arcillosa 60 por ciento de arcilla
Pedregosidad	Sin pedregosidad
Fertilidad	Moderada
Salinidad	Baja
Drenaje superficial e interno	Drenaje bueno, nivel de la capa freática siempre bajo de tres metros
Riesgo de inundación	Poco frecuente
Zona de vida	Bosque húmedo tropical
Uso de suelo anterior	Pastos (por más de 10 años)

Fuente: generado por la presente investigación

#### 4. Descripción de la lluvia acumulada

Durante la ejecución del experimento, a partir de agosto de 2016 hasta julio de 2017 en la comunidad de Las Yayas Afuera, se presentaron 106 eventos de precipitación, dando un total de 2004 milímetros (Figura 10). Los meses de octubre a noviembre de 2016 fueron los más lluviosos con 947 milímetros acumulados, típico de la estación lluviosa. También, el 22 de noviembre ocurrió un evento importante en el Mar Caribe, con repercusiones en la vertiente del Pacífico de Panamá Oeste, la tormenta tropical Otto pasó a huracán de Categoría número uno, manteniéndose por dos días y registrando una lluvia acumulada de

126 milímetros en la zona de estudio, lo que provocó un alto riesgo de erosión.



**FIGURA 10. REGISTRO DE LA LLUVIA ACUMULADA EN EL SITIO DEL EXPERIMENTO PARA LOS AÑOS 2016 Y 2017.**

Desde diciembre del 2016 hasta febrero del 2017 se registraron menores incidencias de precipitaciones, con 65 milímetros acumulados, característico de la temporada seca en la vertiente del Pacífico. Luego, de marzo hasta julio del mismo año, inició la temporada lluviosa con 841 milímetros acumulados, aunque el sistema oceánico y atmosférico continuo siendo consistente con ENSO-Neutral, se acercó a las condiciones de La Niña.

Las máximas precipitaciones en esta región están asociadas generalmente a sistemas atmosféricos bien organizados como ondas del este, depresiones, tormentas tropicales, huracanes, frentes fríos y al desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical.

## 5. Erosividad de las lluvias

Para un total de dos años de registros de información pluviográfica de la estación Las Zanguengas, se obtuvieron los promedios de Intensidad de las lluvias en 30 minutos, Energía Cinética y Erosividad de las lluvias (Cuadro 11).

La precipitación promedio osciló entre un valor mínimo de 6.50 milímetros para los meses de enero y febrero hasta un máximo de 446 milímetros para el mes de noviembre.

Con respecto a la erosividad promedio anual de la lluvia o factor R, se presentó un valor de 14757.96 MegaJoules milímetro por hora hectárea y se considera muy alto.

**CUADRO 11. VALORES MEDIOS MENSUALES CALCULADOS DE PRECIPITACIÓN, INTENSIDAD, ENERGÍA CINÉTICA, EROSIVIDAD MENSUAL Y ANUAL PARA LOS AÑOS 2016 Y 2017 EN LAS ZANGUENGAS.**

Mes	ppt (mm)	I <sub>30</sub> (mm h <sup>-1</sup> )	EC (MJ ha <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	R mensual (MJ mm por ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> )	R anual (MJ mm h <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> )
Enero	6.50	14.00	0.54	9.22	14757.96
Febrero	6.50	13.00	0.51	7.35	
Marzo	14.50	28.00	0.88	18.96	
Abril	101.00	176.00	1.03	2044.62	
Mayo	221.00	293.00	3.45	1705.92	
Junio	112.50	114.00	2.19	472.88	
Julio	92.00	100.00	1.83	338.63	
Agosto	77.50	77.00	1.96	259.27	
Septiembre	225.50	296.00	3.18	1643.41	
Octubre	236.00	330.00	4.10	2786.44	
Noviembre	446.00	389.60	5.06	2907.59	
Diciembre	127.00	254.00	0.93	2563.65	

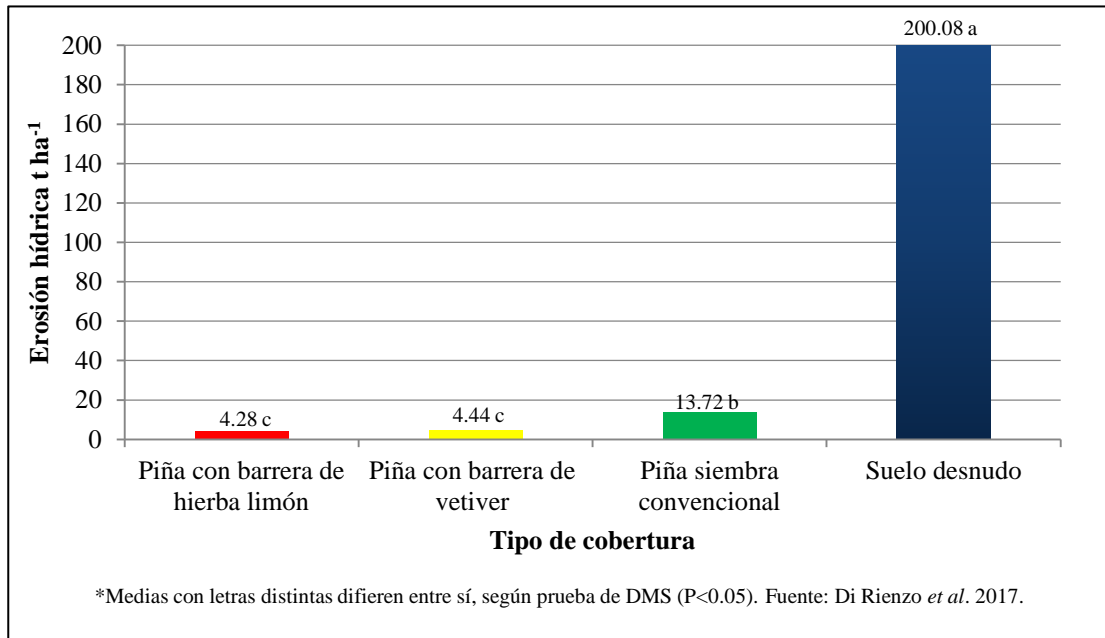
Fuente: generado por la presente investigación.

Por un lado, el valor más alto del índice de erosividad total de la lluvia ocurrió en el mes de noviembre con un valor de 2907.59 MegaJoules milímetro por hora hectárea y la erosividad más baja se presentó en el mes febrero con 7.35 MegaJoules milímetro por hora

hectárea. Por otra parte, en la distribución mensual de la erosividad de las lluvias los valores más altos se presentaron en los meses de octubre, noviembre y diciembre.

## 6. Pérdida de suelo por erosión hídrica

Los valores de pérdidas total de suelo por erosión hídrica muestran diferencias estadísticas ( $P < 0.05$ ) de las medias entre tratamientos, cuando se aplicó la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) (Figura 11).



**FIGURA 11. PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA PARA CADA TRATAMIENTO EVALUADO EN EL CULTIVO DE PIÑA MD-2.**

**CUADRO 12. ANÁLISIS DE LA VARIANZA PARA LA VARIABLE PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA.**

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F	p - valor
Repetición	3	2885.43	123.14	< 0.0001 **
Tratamiento	3	18399.36	785.24	< 0.0001 **
Error	7	23.43		
Total	13			
CV (%)	13.83			

\*\* Diferencia Altamente significativa. CV: Coeficiente de variación. F: estadístico Fisher. p-valor: nivel crítico distribución normal. Fuente: Di Rienzo *et al.* 2017.

El análisis de varianza para la variable pérdida de suelo por erosión hídrica mostró diferencias altamente significativas ( $P < 0.0001$ ) entre los tratamientos (Cuadro 12), por efecto del uso de barreras vivas en el cultivo de piña con pendiente del diez por ciento, lo que hizo necesario efectuar una comparación de medias, utilizando para ello la prueba de DMS al cinco por ciento.

Por un lado, los valores de pérdida de suelo por erosión hídrica en el cultivo de piña donde se establecieron las barreras vivas de hierba limón y vetiver pueden considerarse bajos y; en la siembra convencional donde no se implementó ninguna estrategia de conservación de suelos y aguas fueron altos, en comparación con los valores reportados por diversos autores en estudios similares en plantaciones de piña a nivel mundial.

En términos de pérdida de suelo por erosión hídrica, para un período de 12 meses que abarcó el experimento, en los tratamientos donde se estableció el cultivo de piña MD-2 en asociación con barreras vivas de hierba limón y piña con barreras vivas de vetiver, se obtuvieron valores bajos de pérdida de suelo con 4.28 y 4.44 toneladas por hectárea de acuerdo al nivel de tolerancia “T”, internacionalmente permitido.

Aunque, el comportamiento de las barreras vivas de hierba limón y vetiver fue similar, en el tratamiento de piña con barreras de hierba limón se presentó la mayor cantidad de suelo conservado, esto se debe a la acumulación de materiales detrás de la barrera viva debido a que el hábito de crecimiento de los macollos es alargado y decumbente.

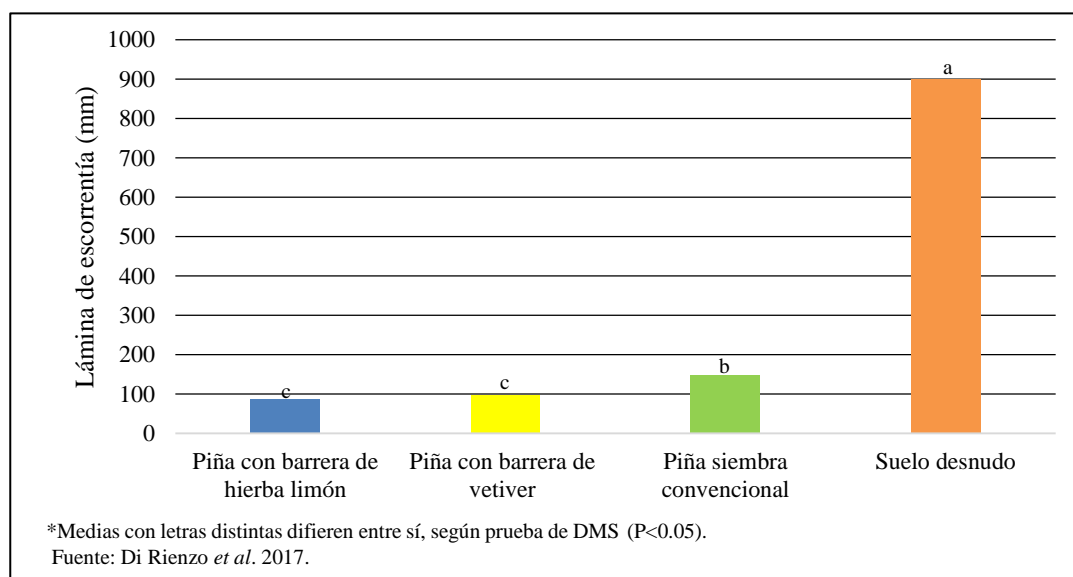
En el caso de las parcelas de piña con barreras de vetiver, se observó una tendencia a perder mayor cantidad de suelo, esto puede ser a formación de pequeñas fisuras entre los macollos, las cuales permitieron que el agua se filtrara y formara pequeños surcos dentro de las parcelas cuando se presentaron lluvias de alta intensidad.



La mayor tasa de suelo erosionado fluctuó entre 200.08 toneladas por hectárea en suelo desnudo y 13.72 toneladas por hectárea bajo siembra convencional, considerándose valores altos según la FAO (1980) y superando el umbral de tolerancia de la pérdida de suelos establecido en 11.0 toneladas por hectárea (Morgan 2005, Brady y Weil 2013). Estos valores ponen de manifiesto la importancia de la magnitud del avance de los procesos de erosión generados por las prácticas de preparación del terreno y manejo del suelo en el cultivo de piña MD-2.

## 7. Escorrentía

La prueba de DMS ( $P < 0.05$ ) para las medias de los tratamientos evidenció diferencias significativas en la lámina de escorrentía para cada uno de los tratamientos evaluados (Figura 12).



**FIGURA 12. LÁMINA DE ESCORRENTÍA PARA CADA TRATAMIENTO EVALUADO EN EL CULTIVO DE PIÑA MD-2.**

**CUADRO 13. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VARIABLE ESCORRENTÍA.**

Fuente de Variación	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F	p - valor
Repetición	3	60033.66	71.54	< 0.0001**
Tratamiento	3	300147.2	357.67	< 0.0001**
Error	7	839.17		
Total	13			
CV (%)	12.95			

\*\* Diferencia Altamente significativa. CV: Coeficiente de variación. F: estadístico Fisher. p-valor: nivel crítico distribución normal  
Fuente: Di Rienzo *et al.* 2017.

Con respecto a la variable escorrentía, el análisis de varianza demostró que hubo diferencias altamente significativas ( $P < 0.0001$ ) entre los tratamientos (Cuadro 13), por el efecto de los eventos de lluvia que generaron escorrentía durante la fase experimental, por lo que fue necesario efectuar una comparación de medias, utilizando para ello la prueba de DMS al cinco por ciento.

La escorrentía en el suelo desnudo con 990.00 milímetros y piña con siembra convencional con 149.00 milímetros fue significativamente mayor con respecto a los demás tratamientos, verificando un mayor riesgo de erosión. En parcelas de piña con hierba limón y piña con vetiver, la escorrentía fue mínima con 87.00 y 97.00 milímetros, respectivamente. Esto indica que las barreras vivas proporcionan mayor grado de protección contra el proceso de erosión del suelo, produciendo diferencias menores en la lámina de escorrentía superficial.

## **8. Efectividad en el control de la erosión y escorrentía**

Los resultados del porcentaje de efectividad del uso de barreras vivas para el control de la erosión hídrica y la escorrentía, en los sistemas de producción comercial de piña en un

suelo del orden Ultisol en la comunidad de Las Yayas Afuera se detallan a continuación (Cuadro 14).

**CUADRO 14. PORCENTAJE DE EFECTIVIDAD DEL USO DE BARRERAS VIVAS EN EL CULTIVO DE PIÑA PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN Y ESCORRENTÍA.**

Tratamiento	Control de la erosión (%)	Control de la escorrentía (%)
1. Piña con hierba limón	97.86	90.34
2. Piña con vetiver	97.78	89.17
3. Piña con siembra convencional	93.14	83.47
4. Suelo desnudo	0.00	0.00

Fuente: generado por la presente investigación.

La efectividad en control de erosión y escorrentía en las parcelas de piña con barreras vivas produjo acumulación de suelo detrás de la barrera, cumpliendo la función esperada de retener el suelo transportado por la escorrentía.

El cultivo de piña presentó una eficiencia promedio del 98 por ciento en el control de la erosión y 90 por ciento en el control de la escorrentía, mientras que el cultivo de piña convencional presentó una eficiencia promedio de 93.14 por ciento en el control de erosión y 83 por ciento en control de la escorrentía.

De acuerdo con estos resultados, es posible reducir la erosión a niveles tolerables y minimizar la escorrentía con el establecimiento de barreras vivas intercaladas en el cultivo de piña, sin ser una práctica de conservación de suelos en sí y bajo las condiciones de pendiente existentes en la finca, las cuales no pasaron del diez por ciento y la erosividad de las lluvias medidas en los años 2016 y 2017 en el experimento. También, nos indicaron que bajo condiciones de mayor erosividad de las lluvias y pendientes más altas, vamos a tener mayor riesgo de erosión en las Yayas Afuera.

## 9. Pérdida de Carbono Orgánico Total y macronutrientes por erosión hídrica

Para la pérdida de Carbono Orgánico Total y macronutrientes por erosión hídrica en el cultivo de piña, las comparaciones de medias mostraron diferencias significativas entre los tratamientos cuando se aplicó la prueba de DMS (Cuadro 15). Finalmente, para los tratamientos evaluados se presentó el siguiente orden de pérdida de macronutrientes Carbono Orgánico Total > Mg > Ca > K > N > P en los sedimentos por erosión hídrica.

**CUADRO 15. PÉRDIDA DE CARBONO ORGÁNICO TOTAL Y MACRONUTRIENTES POR EROSIÓN HÍDRICA EN EL CULTIVO DE PIÑA.**

Tratamiento	COT (kg ha <sup>-1</sup> )	N (kg ha <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	CaO (kg ha <sup>-1</sup> )	Mg O (kg ha <sup>-1</sup> )
1. Piña con barrera de hierba limón	155.31 c	0.2 c	0.67 b	0.94 b	9.63 c	7.44 c
2. Piña con barrera de vetiver	150.32 c	0.19 c	0.46 b	0.64 b	8.49 c	8.12 c
3. Piña siembra convencional	455.07 b	0.59 b	2.14 a	2.12 b	21.31 b	21.4 b
4. Suelo desnudo	5971.17 a	7.72 a	1.91 a	24.85 a	138.44 a	150.27 a
Promedio	1682.96	2.18	1.30	7.14	44.47	46.80

\*Medias con letras distintas difieren entre sí, según prueba de DMS (P<0.05)

Fuente: Di Rienzo *et al.* 2017.

**CUADRO 16. GRADOS DE LIBERTAD Y CUADRADOS MEDIOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CARBONO ORGÁNICO TOTAL Y MACRONUTRIENTES EROSIONADOS.**

Fuente de Variación	gl	CM COT	CM N	CM P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CM K <sub>2</sub> O	CM CaO	CM MgO
Repetición	3	7541093.62	4.2	0.13	44.48	1128.20	1650.90
Tratamiento	3	48773482.19**	27.18**	2.68**	277.24**	7985.20**	9409.32**
Error	7	208604.7	0.05	0.17	2.47	31.01	55.30
CV (%)		16.13	16.30	34.38	34.15	17.94	23.22

\*\* Diferencia Altamente significativa. gl: Grados de libertad. CM: Cuadrados Medios.

Fuente: Di Rienzo *et al.* 2017.

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas entre los tratamientos ( $P < 0.01$ ) para las variables Carbono Orgánico Total, N, P, K, Ca y Mg (Cuadro 16). El suelo desnudo presentó significativamente la mayor pérdida de N, P, K, Ca y Mg por erosión hídrica en comparación con los otros tratamientos. Los datos muestran una disminución de macronutrientes perdidos en los tratamientos en donde se implementó el uso de barreras vivas en el cultivo de piña. Se observó una menor pérdida de fósforo disponible en el suelo desnudo debido a su baja solubilidad, movilidad y alta fijación a los coloides del suelo de orden Ultisol.

Además, los sedimentos orgánicos y minerales disponibles para el transporte por la erosión tienen alta afinidad con las bases del suelo, razón por la cual debieron haber contribuido a la alta concentración de estos macronutrientes en el sedimento. Finalmente, estos valores demuestran que la fertilidad del suelo en un sistema de producción comercial de piña puede ser mejorada al prevenir su pérdida por erosión hídrica con la implementación de barreras vivas como vetiver y hierba limón.

#### **(a). Carbono Orgánico Total**

La pérdida de Carbono Orgánico Total fue significativamente mayor en el suelo desnudo con 5971.17 kilogramos por hectárea y la siembra convencional 455.07 kilogramos por hectárea, mientras que los valores bajos fueron de 155.31 y 150.32 kilogramos por hectárea en los tratamientos donde se implementó el uso de barreras vivas de hierba limón y vetiver respectivamente. Esto evidenció significativamente la disminución de la pérdida de Carbono Orgánico Total con el uso de barreras vivas.

Las pérdidas altas de Carbono Orgánico Total por erosión hídrica en todos los tratamientos son atribuidas al porcentaje alto de materia orgánica encontradas en las muestras de suelo erosionadas, provenientes del horizonte A, ubicado en los primeros 0.30 metros de profundidad, afectado por la preparación del terreno, con una alta acumulación de residuos vegetales en descomposición y, porque la materia orgánica es el primer constituyente en ser removido por la erosión hídrica. En tanto, el cultivo de piña con barreras vivas mostró una efectividad del 97 por ciento en controlar la pérdida del Carbono Orgánico Total.

**(b). Nitrógeno mineralizado**

Los valores de nitrógeno de las muestras analizadas fueron obtenidos de la materia orgánica, ya que el nitrógeno en forma inorgánica disponible para las plantas representa el uno por ciento del contenido total de nitrógeno, mientras que el 99 por ciento está en forma orgánica (Romero-Díaz *et al.* 2012).

Es importante señalar que las pérdidas de nitrógeno mineralizado fueron significativamente mayor en el suelo desnudo con 7.72 kilogramos por hectárea y en la siembra convencional 0.59 kilogramos por hectárea. En contraste, valores bajos de 0.19 y 0.2 kilogramos por hectárea lo reportaron los tratamientos donde se implementaron barreras vivas de hierba limón y vetiver respectivamente.

Estos valores demostraron una disminución significativa en la pérdida de nitrógeno mineralizado. Esto sugiere que las barreras vivas contribuyen a disminuir las pérdidas de nitrógeno. Siendo así que el cultivo de piña con el uso de las barreras vivas mostró una efectividad del 97 por ciento para controlar la pérdida de este elemento.

### **(c). Fósforo**

Las pérdidas de fósforo disponibles fueron significativamente mayor ( $P < 0.05$ ) en la siembra convencional de piña y suelo desnudo con valores de 2.14 y 1.91 kilogramos por hectárea respectivamente. Esto se explica por la mayor cantidad de suelo y las concentraciones de este elemento en los sedimentos erosionados. Los valores disminuyeron a 0.67 y 0.46 kilogramos por hectárea cuando se utilizaron las barreras vivas de hierba limón y vetiver, lo que demuestra un impacto positivo sobre el contenido de fósforo disponible en los suelos erosionados.

Así pues, la concentración de fósforo disponible en los sedimentos erosionados, se explica por las altas concentraciones de este elemento que se pierden luego de los eventos de lluvia y a los aportes de la mineralización de la materia orgánica provenientes de la capa superficial erosionada.

Por otra parte, en los tratamientos de piña con siembra convencional y piña con barreras vivas, parte de la fertilización foliar que no cae en las plantas se difunde en la superficie del suelo, permitiendo un mayor contacto del elemento con el agua de escorrentía y aumentando su concentración en los sedimentos erosionados, como lo verificaron Gascho *et al.* (1998). Finalmente, el cultivo de piña con el uso de las barreras vivas mostró una efectividad del 70 por ciento en controlar la pérdida de este elemento.

### **(d). Potasio**

La prueba de DMS mostró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para la pérdida de potasio, para el tratamiento suelo desnudo con un valor de 24.85 kilogramos por hectárea.

Por un lado, en los tratamientos de siembra convencional de piña y piña barreras vivas de vetiver y hierba limón se encontraron pérdidas de este elemento similares, con valores de 2.12, 0.64 y 0.94 kilogramos por hectárea respectivamente.

Este comportamiento se explica por la baja movilidad y solubilidad que tiene el potasio con relación al calcio y al magnesio, luego de ser aplicados a través de la fertilización foliar. Según Hepton (2003), los requerimientos de potasio por el cultivo de piña son altos, debido a que la planta y la fruta absorben cantidades significativas de este elemento provocando una disminución del potasio disponible en el suelo. Los suelos ácidos con baja Capacidad de Intercambio Catiónico impiden retener el potasio en los sitios de intercambio y facilitan su transporte en el agua. El cultivo de piña con el uso de las barreras vivas mostró una efectividad del 97 por ciento en controlar la pérdida de este elemento.

#### **(e). Calcio**

Con respecto al elemento calcio, este se perdió fácilmente por erosión hídrica y fue significativamente alto ( $P < 0.05$ ) en el tratamiento de suelo desnudo con un valor de 138.44 kilogramos por hectárea, debido a las concentraciones relativamente altas en los sedimentos erosionados y también porque es altamente soluble en agua.

Donde se implementaron barreras vivas de hierba limón y vetiver, las pérdidas de este elemento fueron similares con valores de 9.63 y 8.49 kilogramos por hectárea respectivamente.

Como en el experimento no se realizó encalado, estas pérdidas se atribuyen al contenido de este elemento en las muestras de suelo erosionadas provenientes de los fertilizantes utilizados como el Corrector de Carencia con 33 por ciento de calcio y a residuos del



cultivo. Además, debido a que gran cantidad de calcio permanece en el complejo de cambio de los coloides y en equilibrio con la solución del suelo, facilitando su arrastre superficial y transporte en el sedimento erosionado. En tanto, el cultivo de piña con el uso de las barreras vivas mostró una efectividad del 93 por ciento en controlar su pérdida.

#### **(f). Magnesio**

La comparación de medias, a través del método propuesto por DMS, para la pérdida de magnesio, encontró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) en la parcela de suelo desnudo ( $P < 0.05$ ) con un valor de 150.27 kilogramos por hectárea y en la parcela con siembra convencional de piña con un valor de 21.4 kilogramos por hectárea.

Luego, en las parcelas de piña donde se instalaron las barreras vivas de vetiver y hierba limón, las pérdidas de este elemento fueron similares con valores de 8.12 y 7.44 kilogramos por hectárea respectivamente.

Esta respuesta está influenciada por la forma de aplicar los fertilizantes con concentraciones del magnesio como ingrediente activo. Además, por la movilidad y solubilidad de este elemento que en abundancia de agua puede ser sustituido por iones ácidos en el complejo de intercambio de las arcillas y luego ser adsorbidos por los sedimentos erosionados. El cultivo de piña con el uso de las barreras vivas mostró una efectividad del 95 por ciento en controlar la pérdida de este elemento.

### **10. Pérdida de micronutrientes por erosión hídrica**

Para la pérdida de micronutrientes por erosión hídrica en el cultivo de piña, las comparaciones de medias mostraron diferencias significativas entre los tratamientos cuando se aplicó la prueba de DMS (Cuadro 17). Es importante señalar que para los

tratamientos evaluados se presentó el siguiente orden de pérdida de micronutrientes  $Mn > Fe > Zn > Cu$  en los sedimentos por erosión hídrica.

**CUADRO 17. PÉRDIDA DE MICRONUTRIENTES POR EROSIÓN HÍDRICA EN EL CULTIVO DE PIÑA.**

Tratamiento	Fe (kg ha <sup>-1</sup> )	Cu (kg ha <sup>-1</sup> )	Mn (kg ha <sup>-1</sup> )	Zn (kg ha <sup>-1</sup> )
1. Piña con barrera de hierba limón	0.38 b	0.03 c	0.45 b	2.68 b
2. Piña con barrera de vetiver	0.37 b	0.03 c	0.48 b	3.21 b
3. Piña siembra convencional	1.07 b	0.08 b	5.22 b	6.04 b
4. Suelo desnudo	44.65 a	1.27 a	379.50 a	10.37 a
Promedios	11.62	0.35	96.41	5.57

\*Medias con letras distintas difieren entre sí, según prueba de DMS ( $P < 0.05$ )  
Fuente: Di Rienzo *et al.* 2017.

**CUADRO 18. GRADOS DE LIBERTAD Y CUADRADOS MEDIOS DEL ANALISIS DE VARIANZA PARA MICRONUTRIENTES EROSIONADOS.**

Fuente de Variación	Grados de libertad	CM Fe	CM Cu	CM Mn	CM Zn
Repetición	3	147.08	0.12	10246.79	3.92
Tratamiento	3	967.54**	0.73**	71191.48**	29.46**
Error	7	8.59	7.40E-04	14.83	4.21
CV (%)		42.48	12.39	6.88	42.00

\*\*Diferencia Altamente significativa. CM: Cuadrados Medios. CV: Coeficiente de Variación  
Fuente: Di Rienzo *et al.* 2017.

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $P < 0.01$ ) entre los micronutrientes hierro, cobre, manganeso y zinc en los tratamientos evaluados (Cuadro 18). Las cantidades de hierro, cobre, manganeso y zinc fue significativamente mayor en la parcela de suelo desnudo que en las parcelas de piña con siembra convencional y con barreras vivas de vetiver y hierba limón.

No obstante, los valores muestran una reducción del contenido de micronutrientes en el cultivo de piña con siembra convencional y el uso de barreras vivas. Así pues, las mayores

pérdidas de micronutrientes (hierro, cobre, zinc y manganeso), responden a las concentraciones de estos elementos presentes en los sedimentos erosionados provenientes de las parcelas de esorrentía.

Estos resultados concuerdan con los reportados por Babalola *et al.* (2007) en un Alfisol en la región subhúmeda del sur de Nigeria y por Xue *et al.* (2003) que afirma que estos nutrientes son retenidos y liberados por efecto de la materia orgánica.

#### **(a). Hierro**

La mayor pérdida de hierro por erosión hídrica se encontró en el suelo desnudo 44.65 kilogramos por hectárea. En contraste con los tratamientos de piña con siembra convencional con un valor de 1.07 kilogramos por hectárea y barreras vivas de vetiver y hierba limón con valores de 0.37 y 0.38 kilogramos por hectárea respectivamente, los cuales mostraron los valores más bajos y con una efectividad de 99.16 por ciento para el control de la pérdida de hierro.

Las pérdidas de hierro están relacionadas con su asociación a los agentes quelatantes de la materia orgánica que dan lugar a la formación de complejos que incrementan la concentración y movilidad de este nutriente en la disolución del suelo reportada por Lobartini y Orioli (1988) y Cesco *et al.* (2000). Finalmente, el cultivo de piña con barreras vivas mostró una efectividad del 99 por ciento en controlar su pérdida.

#### **(b). Cobre**

La prueba de DMS ( $P < 0.05$ ) para la pérdida de cobre, presentó diferencias significativas en los tratamientos de suelo desnudo y siembra convencional, con valores de 1.27 y 0.08 kilogramos por hectárea respectivamente y son similares a los encontrados por

Xue *et al.* (2003). Los tratamientos de piña con barreras vivas de vetiver y hierba limón muestran la pérdida de este elemento muy similar a los valores de 0.03 kilogramos por hectárea.

Las pérdidas de cobre se deben a la interacción con la matriz de los sedimentos erosionados a través de diferentes mecanismos de unión, ya sean adsorbidos a las superficies minerales o asociados con carbonatos, óxidos de hierro y manganeso, materia orgánica, sulfuros y la red cristalina refractaria de minerales como los silicatos (Gleyzes *et al.* 2002, Fytianos y Lourantou 2004, Gao y Li 2012). En tanto, el uso de las barreras vivas tuvo una efectividad del 98 por ciento en controlar la pérdida de este elemento.

#### **(c). Manganeso**

Para el microelemento manganeso la comparación de medias mostró un resultado mayor en el suelo desnudo con un valor de 379.50 kilogramos por hectárea en comparación con las parcelas de piña con siembra convencional y en aquellas con barreras vivas de vetiver y hierba limón con valores de 5.22, 0.48 y 0.45 kilogramos por hectárea respectivamente, controlando el 99.87 por ciento de la pérdida de este elemento. Los valores altos de manganeso son similares a los reportados por Gafur *et al.* (2003) y se explican por la disolución reductiva de óxidos de manganeso causada por la saturación repentina de los suelos por lluvias de alta intensidad. En tanto, el cultivo de piña con el uso de las barreras vivas dio una efectividad del 99 por ciento en controlar la pérdida de manganeso.

#### **(d). Zinc**

Los resultados mostraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre los tratamientos para la pérdida de zinc. La mayor pérdida de zinc se encontró en el suelo desnudo, con un valor

de 10.37 kilogramos por hectárea, mientras que en las parcela de piña con siembra convencional y uso de barreras vivas de vetiver y hierba limón, el comportamiento de su pérdida fue similar y con valores de 6.04, 3.21 y 2.68 kilogramos por hectárea respectivamente.

Esto se explica por la naturaleza de las arcillas a la formación de complejos con la materia orgánica erosionada; además por un uso indiscriminado de los fertilizantes que lo contienen. El uso de las barreras vivas tuvo una efectividad del 72 por ciento en controlar la pérdida de zinc.

Finalmente, el efecto de conservación de la fertilidad del suelo por las barreras vivas fue más efectiva en el vetiver con pérdidas de macronutrientes, estimadas para el Carbono Orgánico Total con 150.32 kilogramos por hectárea, nitrógeno con 0.19 kilogramos por hectárea, fósforo con 0.46 kilogramos por hectárea, potasio con 0.64 kilogramos por hectárea, calcio con 8.49 kilogramos por hectárea y magnesio con 8.12 kilogramos por hectárea. Además, las pérdidas de micronutrientes fueron menores con 0.37 kilogramos por hectárea para hierro, 0.03 kilogramos por hectárea para cobre, 0.48 kilogramos por hectárea para manganeso y 3.21 kilogramos por hectárea para el zinc. Estos resultados corroboran lo dicho por Roongtanakiat *et al.* (2007) y Truong (2000) sobre las plantas de vetiver y su capacidad de atrapar y absorber gran cantidad de estos nutrientes por el amplio sistema radicular que poseen, evitando así que se acumulen y contaminen los suelos y, tolerando diversas condiciones ambientales extremas.

## CONCLUSIONES

1. Según la taxonomía de suelo de los Estados Unidos, el perfil de suelo estudiado se agrupa en el Orden Ultisol. Se reconoció el suborden Humult por tener mayor cantidad de materia orgánica en los horizontes superficiales. El horizonte Ap presentó una mayor acumulación de nutrientes, esto se debe a que el porcentaje de materia orgánica y su mineralización son los factores determinantes de disponibilidad en la solución de suelo. Los suelos presentan un pH en agua ácido, moderada Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva, baja saturación de bases, baja saturación de aluminio y una baja conductividad eléctrica; y se encuentran entre los valores aceptables para el establecimiento del cultivo de piña. Los suelos presentan buenas propiedades físicas y son suelos fuertemente meteorizados, con 40 y 70 por ciento de contenido de arcilla. En el horizonte superficial la densidad aparente y real son relativamente bajas, la Infiltración básica fue de 84.35 milímetros por hora, indicando que al rebasar este valor por efecto de las lluvias intensas se provocará escorrentía superficial. La estabilidad de los agregados es moderada y el contenido de materia orgánica nos indica que cumple su función estabilizadora de los agregados del horizonte superficial.

2. A partir de agosto de 2016 hasta julio de 2017, se presentaron 105 eventos de precipitación, acumulando un total de 2004 milímetros, en la comunidad de Las Yayas Afuera. Para la estación de telemétrica de Las Zanguengas, la erosividad anual de la lluvia o factor “R” presentó un valor de 14757.96 MegaJoules milímetro por hora hectárea, lo que se considera muy alto. Por otra parte, existe un alto potencial de erosión hídrica en los

meses de octubre, noviembre y diciembre, ya que presentan los valores más altos de erosividad total de las lluvias.

3. En cuanto a las pérdidas de suelo por erosión hídrica, las menores pérdidas de suelo se presentaron en los tratamientos de piña con barreras vivas de hierba limón y piña con vetiver con valores de 4.28 y 4.44 toneladas por hectárea respectivamente y por debajo del valor “T” internacional tolerable. Las mayores tasas de erosión hídrica se registraron en los tratamientos de piña con siembra convencional y suelo desnudo con valores de 13.72 y 200.08 toneladas por hectárea, superando el límite de tolerancia de pérdida de suelos, establecido en 11.0 toneladas por hectárea.

4. El cultivo de piña sin ser una práctica de conservación de suelos en sí, con el uso barreras vivas obtuvieron una efectividad promedio del 98 por ciento en el control de la erosión hídrica y 90 por ciento en el control de la escorrentía, comparadas con las prácticas convencionales a favor de la pendiente. Por lo tanto, establecer el cultivo de piña a favor de la pendiente, en la temporada lluviosa, en un terreno con una pendiente del diez por ciento y el uso de estas barreras vivas de vetiver y hierba limón, son una herramienta eficaz para reducir las pérdidas de suelo y minimizar la escorrentía.

5. De acuerdo a los resultados obtenidos, las pérdidas de nutrientes están directamente afectadas por la cantidad de suelo perdido, pendiente, precipitaciones y el enriquecimiento del horizonte Ap por las fertilizaciones foliares y residuos del cultivo. En forma general, los macronutriente (Carbono Orgánico Total, N, P, K, Ca y Mg) sufrieron una mayor pérdida que los micronutrientes (Fe, Cu, Mn y Zn). En el ciclo del cultivo de piña, se

presentaron los siguientes órdenes: Carbono Orgánico Total > Mg > Ca > K > N > P para las pérdidas de macronutrientes y Mn > Fe > Zn > Cu para las pérdidas de micronutrientes en el suelo.

6. El manejo convencional del cultivo de piña está agotando la fertilidad del suelo hasta llevarlo a niveles inviables si no se adoptan medidas adecuadas para el control de la erosión. El suelo desnudo presentó la mayor pérdida de nutrientes por erosión hídrica en comparación con los otros tratamientos. El efecto de conservación de la fertilidad del suelo por las barreras vivas fue más efectiva en el vetiver, donde las pérdidas de nutrientes fueron menores en comparación con los otros tratamientos, debido a la habilidad que tienen las plantas de vetiver de atrapar y retener estos elementos del suelo en su sistema radicular.



## RECOMENDACIONES

1. El uso del vetiver y la hierba limón como barreras vivas son herramientas efectivas para el control de la erosión hídrica y pérdidas de nutrientes en los sistemas de producción comercial de piña.
2. Los índices de erosividad de las lluvias encontrados para la estación pluviométrica de las Zanguengas deben servir como elementos de juicio sobre el alto riesgo de erosión que ocurre en la zona y en la planificación del uso y obras de conservación de suelos en los sistemas de producción comercial de piña.
3. Es importante seguir con los estudios, para determinar los valores de erodabilidad del suelo o factor K y de la cobertura del suelo o factor C en el cultivo de piña, a fin de complementarlas con los valores de erosividad de las lluvias.
4. Se deben continuar con las investigaciones, para determinar los nutrimentos en el agua de escorrentía y adicionar estos datos a las pérdidas de nutrientes en el suelo erosionado y finalmente, estimar una valoración económica por costos de reemplazo de Carbono Orgánico Total, N, K, P, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu y Mn perdidos por erosión hídrica en el cultivo de piña.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ABBASI, MA; y JAMAL, T. 1999. Soil Loss and Runoff Measurement from Banana-Pineapple Intercropping System. Pakistan Journal of Biological Sciences 2 (3): 689 - 692.
2. ACCOE, F; BOECKX, P; BUSSCHAERT, J; HOFMAN, G; and VAN O. 2004. Gross N transformation rates and net N mineralisation rates related to the C and N contents of soil organic matter fractions in grassland soils of different age. Soil Biol. Biochem. 36: 2075-2087.
3. AED (Academy for Educational Development, US). 2004a. Planificación de uso y conservación de suelo en áreas piñeras de las subcuencas de Los Hules, Tinajones y Caño Quebrado. Panamá, PA. 24 p.
4. AED (Academy for Educational Development, US). 2004b. Caracterización de la actividad Piñera en las subcuencas de Los Hules Tinajones y Caño Quebrado. Panamá, PA. 47 p.
5. AGUDO, L; VILLALAZ, J; VILLARREAL J; CERRUD O; y TEJEDOR, A. 2011. Comportamiento espacial de la erodabilidad del suelo en la cuenca del río La Villa, Panamá (diapositivas). Panamá, PA. IDIAP. 1diapositiva.
6. ALLISON, FE. 1973. Soil Organic Matter and Its Role in Crop Production. Developments in Soil Science 3. U.S. Department of Agriculture. Washington DC, USA. 631p.

7. ALLISON, LE; BROWN, JW; HAYWARD, HE; RICHARDS, LA; BERNSTEIN, L; FIREMAN, M; PEARSON, GA; WILCOX, LV; BOWER, CA; HATCHER, JT; y REEVE, RC. 1980. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Trad. N. Sánchez, E. Ortega, R. Vera y Zapata, R. Gónzález. 6 Ed. USDA. México DF, MX. LIMUSA. 172 p.
8. ALMOZA, Y; ALONSO, G; RUIZ, M; y MEDINA, H. 2009. Cambios climáticos y sus efectos en las pérdidas de suelo en la cuenca del río Cuyaguatije. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 18(2): 32-39.
9. ÁLVAREZ, I; SAM, O; y REYNALDO, I. 2005. Cambios inducidos por el aluminio en la morfogénesis radicular del arroz. Cultivos Tropicales 26(1): 21-25.
10. ANAM (Autoridad Nacional del Medio Ambiente, PA). 2009. Atlas de las tierras secas y degradadas de Panamá. Unidad de Cambio Climático y desertificación. Comité Nacional de Lucha contra la sequía y la Desertificación. Panamá, PA. 77 p.
11. ANAM (Autoridad Nacional del Medio Ambiente, PA). 2010. Atlas Ambiental de la República de Panamá. Panamá, PA. Novo Art, S.A. 187 p.
12. ANDRADE, ODC; y RODRÍGUEZ, OS. 2002. Evaluación de la eficiencia de barreras vivas como sistemas de conservación de suelos en ladera. Bioagro 14(3): 123-133.
13. ARI (Autoridad de la Región Interoceánica de Panamá, PA). 1996. Plan Regional para el desarrollo de la región interoceánica. Informe II, documento 1 final: Plan de Usos del Suelo y los Recursos Naturales de la región interoceánica. Panamá, PA. p G1-G4.
14. ARIAS, AC. 2012. Suelos tropicales. San José, CR. EUNED. 188 p.
15. ÁVILA, GG. (2003). Cercas vivas como fuente de alimento para el ganado y leña. Proyecto Comunidades y Cuencas. Cali, CO. CIAT. p 8.

16. BAKER, JL; and LAFLEN, JM. 1983. Water quality consequences of conservation tillage. *Journal of Soil & Water Conservation*, Ankeny 38 (3):186–193.
17. BAVER, LD; GARDNER, WH; y GARDNER, WR. 1973. Física de Suelos. Editorial Hispano Americana. México DF, MX. 529 p.
18. BECK, KC; REUTER, JIL; and PERDUE, E.M. 1974. Organic and inorganic geochemistry of some Coastal Plain rivers of the southeastern United States. *Geochim. Cosmochim. Acts.* 1. 38: 341- 364.
19. BENNET, HH. 1939. Soil Conservation. McGraw-Hill Books Company, Inc. New York, USA. 993 p.
20. BERTOL, I. 1994. Perdas de nutrientes por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo de solo sob rotação de culturas. *Universidade & Desenvolvimento* 2:174 -184.
21. BERTONI, J; & LOMBARDI NETO, F. 2010. Conservação do solo. Ed.7. São Paulo, BR. Ícone. 355 p.
22. BERTSCH, F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José, CR. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. 159 p.
23. BETANCOURT, YP; MONTILLA, I; HERNÁNDEZ, C; y GALLARDO, E. 2005. Fertilización nitrogenada en el cultivo de piña (*Ananas comosus* L. Merr) en el sector Páramo Negro, municipio Iribarren estado Lara. *Revista de la Facultad de Agronomía* 22(4): 382-393.
24. BETHANCOURT, VY. 2008. Aplicación del modelo USLE para la predicción de la erosión potencial en la subcuenca del río Los Hules, Tinajones y Caño Quebrado, de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá utilizando los sistemas de información geográfica. Tesis Licenciatura. Panamá, PA. UP. 118 p.

25. BIGHAM, JM; and CIOLKOSZ, JM. 1993. Soil color. Wisconsin, USA. Soil Science Society of America. 159 p.
26. BLACK CA; EVANS DD; ENSMINGER LE; WHITE JL; CLARK FE; and DINAVER RC. 1965a. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistic of measurement and sampling. American Society of Agronomy. Inc. Publisher. Madison Wisconsin, USA. p. 1-770.
27. BLACK CA; EVANS DD; ENSMINGER LE; WHITE JL; CLARK FE; and DINAVER RC. 1965b. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy. Inc. Publisher. Madison Wisconsin, USA. p. 771-1572.
28. BLAKE, GR. 1965. *In* BLACK CA; EVANS DD; ENSMINGER LE; WHITE JL; CLARK FE; DINAVER, RC. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical properties, including statistic of measurement and sampling. American Society of Agronomy. Inc. Publisher. Madison Wisconsin, USA. p. 1-770.
29. BOSCH, M; COSTA, JL; CABRIA, FN; y APARICIO, VC. 2012. Relación entre la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica y el contenido de sodio del suelo. *Ciencia del suelo* 30(2): 95-105.
30. BOUYOUCOS, G. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* 54: 464-465.
31. BRADY, CN; and WEIL RR. 2013. Elementos da natureza e propriedades dos solos. Trad. IF Lepsch. 3 ed. São Paulo, BR. Bookman Editora. p. 551- 590.
32. BROADBENT, FE. 1965. *In* BLACK CA; EVANS DD; ENSMINGER LE; WHITE JL; CLARK FE; DINAVER RC. 1965b. Methods of soil analysis. Part 2.

Chemical and microbiological properties. American Society of Agronomy. Inc. Publisher. Madison Wisconsin, USA. p. 771-1572.

33. BROWN, LR; and WOLF, EC. 1984. Soil Erosion Quiet Crisis in the World Economy. Worldwatch Paper No. 60. Worldwatch Institute, Washington DC, USA, p. 50.

34. BUOL, SW. 2004. Génesis y clasificación de suelo. 2 ed. México, MX. Trillas. 417 p.

35. CAMARGO, M; IMBACH, CA; DÍAZ B, A; y VARGAS, E. 2016. Variabilidad climática y desarrollo de capacidad adaptativa en el archipiélago Bocas del Toro en Panamá. Revista ESAICA 2(1): 7-11.

36. CARVALHO, NO. 2008. Hidrossedimentologia Prática. 2ª Edição. Rio de Janeiro, BR. Interciência. 599 p.

37. CASTAÑEDA DE PRETEL, P. 2003. Manual Técnico: Seminario Sobre Producción y Manejo Post Cosecha de La Piña para la Exportación. Proyecto Regional de fortalecimiento de la vigilancia fitosanitaria en Cultivos de Exportación No tradicional. El Salvador, SV. VIFINEX. 62 p.

38. CATAPAN (Catastro Rural de Tierras y Aguas de Panamá, PA). 1970. Final Report on the Catastro Rural de Tierras y Aguas de Panamá. Panamá, PA. Comisión de Reforma Agraria/AID. 504 p.

39. CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CL). 2008. Agricultura, desarrollo rural, tierra, sequía y desertificación: resultados, tendencias y desafíos para el desarrollo sostenible de América Latina y el Caribe. Santiago, CL, Naciones Unidas. 77 p.

40. CESCO, S; RÖMHELD, V; VARANINI, Z; and PINTON, R. 2000. Solubilization of iron by water-extractable humic substances. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 163: 285-290.
41. CHAPMAN, HD. 1965. Cation Exchange Capacity. *In* Black CA; Evans DD; Ensminger LE; White JL; Clark FE; Dinaver RC. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* American Society of Agronomy. Inc. Publisher. Madison Wisconsin, USA. p. 771-1572.
42. CHINCHILLA, M; MATA, R; y ALVARADO, A. 2011. Caracterización y Clasificación De Algunos Ultisoles De La Región De Los Santos, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 35(1): 59-81.
43. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, CO). 1983. Oxisoles y Ultisoles en América Tropical. I Distribución, importancia y propiedades físicas; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Cali, CO. CIAT. 56 p.
44. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, CO). 1984. Oxisoles y Ultisoles en América Tropical. II Mineralogía y características químicas; guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema. Cali, CO. CIAT. 68 p.
45. CICH (Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, PA). 2007. Informe del Estado Ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Panamá, PA. 76 p.
46. CIESIOLKA CAA; COUGHLAN, KJ; ROSE, CW; and SMITH, GD. 1995. Erosion and hydrology of steepplands under commercial pineapple production. *Soil Technology* 8: 243-258.

47. COCK, J; ÁLVAREZ, D; and ESTRADA M. 2010. Rapid Soil and Terrain Assessment: Guía práctica para la caracterización del suelo y del terreno. Versión 2. Cali, CO: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Corporación BIOTEC. 62 p.
48. CRUZ FERNÁNDEZ, M. 2005. Barreras vivas antierosivas para la agricultura de ladera en la Huasteca Potosina. INIFAP-CIRNE. Campo experimental. Huichihuayán. Folleto para productores. No. 6. San Luis Potosí, MX. 16 p.
49. CUESTA, PA; y VILLANEDAS, E. 2005. El análisis de suelo: toma de muestras y recomendaciones de fertilización para la producción ganadera. In CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). Manual técnico producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones del caribe y valles interandinos. Las Palmas Bogotá, CO. p 1-10.
50. DA VEIGA, M; y DO PRADO, W. 1993. Manual para la instalación y conducción de experimentos de pérdida de suelos. Documento de campo 1. Trad. Jeldre, DI. Santiago, CL. FAO. 34 p.
51. DASS, A; SUDHISHRI, S; LENKA, NK; and PATNAIK, US. 2011. Runoff capture through vegetative barriers and planting methodologies to reduce erosion, and improve soil moisture, fertility and crop productivity in southern Orissa, India. Nutrient Cycling Agroecosystems 89: 45-57.
52. DI RIENZO JA; CASANOVES, F; BALZARINI, MG; GONZÁLEZ, L; TABLADA, M; and ROBLEDO, CW. 2017. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Consultado 15 mayo 2018. Disponible en <http://www.infostat.com.ar>.



53. ELLIS, BG; and KNEZEK, BD. 1972. Adsorption reactions of micronutrients in soils. In: J. Mortvedt, P.M. Giordano and W.C. Lindsay (Editors), Micronutrients in Agriculture Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin USA. 666 pp.
54. ELLISON, WD. 1947. Soil Erosion. Soil Science Society American Proceedings 12(5):479-484.
55. EL-SWAIFY, SA; DANGLER, EW; and ARMSTRONG, CL .1982. Soil erosion by water in the tropics. Department of Agronomy and Soil Science. College of Tropical Agriculture and Human Resources University of Hawaii. Honolulu, Hawaii, US. 173 p.
56. EL-SWAIFY, SA; ZHANG, J; PALIS, R; ROSE, CW; and CIESIOLKA, CAA. 1993. Erosion problems and conservation needs of pineapple culture. Acta Horticulturae 334: 227 - 239.
57. ESPINOZA, J; SANTOS, I; BARNET, R; CEBALLOS, J; y LARA, J. 2001. La producción de piña y su relación con la calidad del agua en la cuenca alta del Lago Gatún. In Visión Agroempresarial: revista del Sector publico agropecuario. Panamá, PA. MIDA.
58. ESTÉVEZ JI; ANDRADE, L; MARCET, P; y MONTERO, M. 1998. La influencia de las propiedades del suelo en la fijación y movilidad de Zn y Cd. Edafología: Sociedad Española de la Ciencia del Suelo 5: 19-27.
59. ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica S. A., PA). 2015. Estado actual de las condiciones del Océano Pacífico y su posible evolución durante el año 2015-2016 (en línea). Panamá, PA. Consultado el 2 de septiembre de 2016. Disponible en [http://www.hidromet.com.pa/documentos/el\\_nio\\_2015\\_08\\_15.pdf](http://www.hidromet.com.pa/documentos/el_nio_2015_08_15.pdf)

60. ETESA (Empresa de Transmisión Eléctrica S.A, PA). 2018. Pronostico de la lluvia. Departamento de Hidrometeorología. Consultado el 21 de marzo de 2018. Disponible en: [http://www.hidromet.com.pa/pronostico\\_lluvia.php](http://www.hidromet.com.pa/pronostico_lluvia.php)
61. EYHERABIDE, M; SAÍNZ R, H; BARBIERI, P; y ECHEVERRÍA, HE. 2014. comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. Ciencia del Suelo (Argentina) 32 (1): 13-19.
62. FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, IT). 1967. La erosión del suelo por agua. Cuadernos de fomento agropecuario. No. 81. Roma, IT. 207 p.
63. FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, IT). 1988. Sistemas de labranza para la conservación del suelo y el agua. Roma, IT. p 288.
64. FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, IT). 1993. Erosión de suelos en América Latina. Roma IT. 89 p. Roma, IT. Consultado 18 nov 2005. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm>
65. FAO (Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, IT). 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, IT. UNESCO- PNUMA. 86 p.
66. FASSBENDER, HW; and BORNEMISZA, E. 1985. Química de suelos con énfasis en América Latina. 2 ed. San José, CR. IICA. 420 p.
67. FAUSTINO, J. 1996. Manejo de los Recursos naturales y del medio ambiente en el contexto de la visión del 2020: degradación de los Suelos y manejo de Cuencas. In Ferreira, P.. Recursos naturales y sostenibilidad agrícola en Mesoamérica. Seminario Perspectivas

de la Agricultura en Mesoamérica Hacia el año 2020). (1996, México D. F.). Documento Base (No. CATIE 333.72063 S471 1996. Turrialba, CR. IICA. p 25-37.

68. FERNÁNDEZ, M; GÓMEZ, J; y GADEA, A. 2012. Erosión en suelos bajo el cultivo de piña, Zona Norte de Costa Rica. Programa de Manejo y Conservación de Suelos Chiquita. CANAPEP 10: 42 - 43.

69. FORSYTHE, W. 1980. Física de suelos. Manual de Laboratorios. 2 ed. San José, CR. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. 212 p.

70. FOSTER, GR; MCCOOL, DK; RENARD, KG; and MOLDENHAUER, WC. 1981. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. Soil Water Conservation 36:355- 59.

71. FOSTER, GR; YOUNG, RA; and NEIBLING, WH. 1985. Sediment composition for nonpoint source pollution analyses. Transactions of the ASAE 28(1): 133-0139.

72. FREITAS, PL; & CASTRO, AF. 1983. Estimativas das perdas de solo e nutrientes por erosão no Estado do Paraná. B. Inf. SBCS 8: 43-52.

73. FYTIANOS, K; and LOURANTOU, A. 2004. Speciation of elements in sediment samples collected at lakes Volvi and Koronia, N. Greece. Environ. Int. 30 (1): 11–17.

74. GAFUR, A; JENSEN, JR; BORGGAARD, OK; and PETERSEN, L. 2003. Runoff and losses of soil and nutrients from small watersheds under shifting cultivation (Jhum) in the Chittagong Hill Tracts of Bangladesh. Journal of Hydrology 274 (2003): 30 –46.

75. GAO, XL; and LI, PM. 2012. Concentration and fraction of trace metals in surface sediments of intertidal Bohai Bay China. Mar. Pollut. Bull. 64: 1529 – 1536.

76. GARCÍA, A. 2003. Tipos de suelos salinos. In Manejo integral de la fertilidad del suelo. Bogotá, CO. Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo. p. 85-96.

77. GASCHO, G; WAUCHOPE, R; DAVIS, JG; TRUMAN, ; DOWLER, CC; HOOK, JE; SUMNER, HR; and JOHNSON, AW. 1998. Nitrate-nitrogen, soluble, and bioavailable phosphorus runoff from simulated rainfall after fertilizer application. *Soil Science Society of America Journal* 62: 1,711-1,718.
78. GLEYZES, C; TELLIER, S; and ASTRUC, M. 2002. Fractionation studies of trace elements in contaminated soils and sediments: are view of sequential extraction procedures. *TrAC-Trends Anal. Chem.* 21(6-7): 451-467.
79. GRIMSHAW, RG. 1993. The Role of Vetiver Grass in Sustaining Agricultural Productivity. Asia Technical Department. The World Bank, Washington D.C., USA.
80. GUEVARA, E. 1997. Manejo integrado de cuencas. Documento de referencia para los países de América Latina. FAO. RCL/97/04-FOR-54. Santiago, CL. 14 p.
81. HALL, GF; DANIELS, RB; and FOSS, JE. 1979. Soil formation and renewal rates in the U.S. In Symposium on determinants of soil loss tolerances. Soil Science Society of American Annual Meeting. Colorado, USA.
82. HALLBERG, GR; WOLLENHAUPT NC; and MILLER GA. 1980. A century of soil development in spoil derived from loess in Iowa. *American Society of Agronomy - Soil Science Society of America* 42: 339-343.
83. HEPTON, A. 2003. Cultural System. In *The pineapple: botany, production, and uses* edited by BARTHOLOMEW DP; PAULL RE; ROHRBACH, KG. CABI Publishing. New York, USA. p. 109-142.
84. HILLEL, D. 1998. *Environmental Soil Physic: Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations*. San Diego, California; USA. Academic Press. 771 p.

85. HOLZAPFEL, EA; and MATTA, CR. 2005. Infiltración del agua en el suelo. Concepción, AR. Universidad de Concepción. Facultad de ingeniería Agrícola. Departamento de Recursos hídricos. 30 p.
86. HORTON, RE. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. Trans. Amer. Geophys. Union 14: 446-460.
87. HUDSON, NW. 1995. Soil conservation. 3 rd. BT Batsford. London, UK. 391 p.
88. IDIAP (Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, PA). 2006. Zonificación de Suelos de Panamá por Niveles de Nutrientes. Panamá, PA. IDIAP. 23 p.
89. IGLESIAS, E. 2017. Manejo Agronómico del cultivo de piña. Actualidad Agropecuaria no. 223: 32-34.
90. INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo, PA). 2018. Exportación de mercaderías importantes de la República, por cantidad y valor: años 2014 -17. Contraloría General de la República. Panamá, PA. Consultado el 3 de junio de 2018. Disponible en [https://www.contraloria.gob.pa/INEC/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID\\_SUBCATEGORIA=45&ID\\_PUBLICACION=699&ID\\_IDIOMA=1&ID\\_CATEGORIA=17](https://www.contraloria.gob.pa/INEC/Publicaciones/Publicaciones.aspx?ID_SUBCATEGORIA=45&ID_PUBLICACION=699&ID_IDIOMA=1&ID_CATEGORIA=17)
91. INGRAM, J; LEE, J; and VALENTIN, CH. 1996. The GCTE Soil Erosion Network: A multi-participatory research program. Journal of Soil and Water Conservation, 51 (5): 377-380.
92. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, CH). 2012. Climate change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (en línea). Ginebra, CH. Consultado el 30 de abril de 2018. Disponible en <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2.htm>

93. JARAMILLO, SE; BRYANT, R; y KIMBLE, J. 1991. Pedones de campo y estaciones experimentales del IDIAP. Panamá, PA. IDIAP 67 p.
94. JIMÉNEZ, JA. 1999. Manual práctico para el cultivo de piña de exportación. San José, CR. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 224 p.
95. JOHNSON, AI. 1963. A Field Method for Measurement of Infiltration. Geological Survey Water-Supply Paper 1544-F. U.S. Department of Interior. Washington, US. 31 p.
96. JOHNSON, LC. 1987. Soil loss Tolerance: Fact or myth. Journal of soil and water conservation. 42 (3): 155-160.
97. JONES, CA; GRIGGS, RH; WILLIAMS, JR; y SRINIVASAN, R. 1992. Predicción de la erosión hídrica y eólica del Suelo. In Taller sobre utilización de un sistema de información geográfica en la evaluación de la erosión actual de suelos y la predicción de riesgo potencial. Santiago, Cl. FAO. 11 p. Consultado 2 mayo 2018. Disponible en: [http://www.fao.org/documents/show\\_cdr.asp?url\\_file=/docrep/t2351s/T2351SO3.htm](http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/t2351s/T2351SO3.htm)
98. KABATA-PENDÍAS, A. 2001. Trace Elements and Soils and Plants. Third Edition. Boca Ratón. Florida, US. CRC Press LLC 413 p.
99. KAPOŠ, V; WALCOTT, J; THORLEY, J; MARISCAL, E; LABBATE, G; RAVILIOUS, C; MILES, L; NARLOCH, N; TRUMPER, K; and BERTZKY, M. 2015. Planificación de REDD + en Panamá: asegurando beneficios sociales y ambientales. Cambridge, GB. Consultado 2 mayo 2018. Disponible en: <http://www.un-redd.org/tabid/5954/Default.aspx>
100. KATYAL, JC; and HEGDE, BR. 1994. Rainwater management for sustaining productivity of Indian dry lands. In: Bhushan LS, Abrol IP, Ramamohan Rao MS (eds) 8th ISCO on Soil and Water Conservation Challenges and Opportunities 1: 287–303.

101. KAY, BD. 1990. Rates of change of soil structure under different cropping systems. Adv. Soil Science no.12: 1-52.
102. KEMPER, W; and ROSENAU, R. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A; CAMPBELL, GS; JACSON, RD; MORTLAND, MM; NIELSEN, DR. Methods of Soil Analysis. Part I: Physical and Mineralogical Methods-Agronomy Monograph. No. 9 (2nd Edition). American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison WI, USA. p. 425–442.
103. KLINGEBIEL, AA; and MONTGOMERY, PH. 1961. Land capability classification. USDA Handbook, Vol. 210. United States Department of Agriculture. Washington, DC; USA. 332 p.
104. KOSTIAKOV, AN. 1932. The Dynamics of the Coefficient of Water Percolation in Soils and the Necessity for Studying It from a Dynamic Point of View for Purpose of Amelioration. Society of Soil Science 14: 17-21
105. LAL, R 1976. Soil erosion on Alfisols in Western Nigeria and their control. Nutrient element losses in runoff and eroded sediments. Geoderma 16: 403-417.
106. LAL, R. 1988. Soil erosion research methods. International Society of Soil Science Subcommission of Soil Conservation and Environment, Soil and Water Conservation Society. Ankeny Iowa, USA. 244 p.
107. LAL, R. 1993. Tillage effects on soil degradation, soil resilience, soil quality, and sustainability Soil and Tillage Research 27: 1-8.
108. LAL, R. 2000. Soil management in the developing countries. Soil Science 165:57-62.
109. LAL, R. 2001. Soil degradation by erosion. Land degradation and development

12(6): 519-539.

110. LARA, JA; JAÉN, M; DÍAZ, AG; y MARTÍNEZ, T. 2016. Aproximación al valor económico de la pérdida de suelos por erosión hídrica superficial en áreas piñeras de las Subcuencas de los ríos Los Hules, Tinajones y Caño Quebrado. Panamá, PA, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 10p.

111. LEAUNGVUTIVIROJ, C; PIRIYPRIN, S; and LIMTONG, P. 2006. Study on relationship between soil microorganisms and nutrient elements of *Vetiveria zizanioides* and *Vetiveria nemoralis* in some problem soils of Thailand. Thailand DC16 Speaker: Pitayakorn Limtong.

112. LOBARTINI, JC; and ORIOLI, GA. 1988. Absorption of iron Fe humate in nutrient solutions by plants. Plant and Soil 106(2):153-157.

113. LÓPEZ, A. 2016. Neutralizar la degradación de las tierras, una aspiración global. ¿Es posible lograrlo en México? Terra Latinoamericana 34: 239-249.

114. LORA, R. 2003. Las propiedades químicas del suelo y su fertilidad. In Manejo integral de la fertilidad del suelo. Bogotá, CO. Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo p.31- 42.

115. MABIT, L; and BERNARD, C. 2007. Assessment of spatial distribution of fallout radionuclides through geostatistics concept. Journal of Environmental Radioactivity 97(2): 206–219.

116. MALÉZIEUX, E; and BARTHOLOMEW, DP. 2003. Plant Nutrition. In The pineapple: botany, production, and uses edited by BARTHOLOMEW DP; PAULL RE; ROHRBACH, KG. Eds. CABI Publishing. New York, USA. p. 143-165.



117. MATHAN, KK; and KANNAN, N. 1993. Influence of rainfall on nutrient loss in sediment and runoff water in two watersheds under contrasting landscape systems. *J. Indian Soc. Soil Science* 41: 606-608.
118. MEDINA, A. 2003. Síntomas de deficiencias minerales en las plantas. In *Manejo integral de la fertilidad del suelo*. Bogotá, CO. Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo. p. 3-21.
119. MEDINA-MÉNDEZ, J; VOLKE-HALLER, V; GALVIS-SPÍNOLA, A; GONZÁLEZ- RÍOS, J; SANTIAGO-CRUZ, M; y CORTÉS-FLORES, J. 2009. Propiedades químicas de un Luvisol después de la conversión del bosque a la agricultura en Campeche, México. *Agronomía Mesoamericana* 20 (2): 217-235.
120. MEDINA, E; BIFANO, T; y DELGADO, M. 1976. Diferenciación fotosintética en plantas superiores. *Interciencia* 1(2): 96-104.
121. MENGEL, E; and KIRKBY, E. 2000. Principios de nutrición vegetal. Trad. RJ Melgar. 4 ed. Basilea, CH. Instituto Internacional de la Potasa. 685 p.
122. MIDA (Ministerio de Desarrollo Agropecuario, PA). 2015. Serie histórica de producción y exportación de Piña MD-2 (2002-2015). Dirección Regional de Servicios Agropecuarios. Región 5 Panamá Oeste. Capiira, PA.
123. MONTENEGRO, H. 2003. Propiedades físicas de los suelos en relación con la fertilidad. In *Manejo integral de la fertilidad del suelo*. Bogotá, CO. Sociedad Colombiana de Ciencia del Suelo. p. 3-21.
124. MORALES, C. 2012. Los costos de la inacción ante la desertificación y degradación de las tierras en escenarios alternativos de cambio climático. Santiago, CL, Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe. 93 p.

125. MORGAN, RPC. 2005. Soil erosion and conservation. 3 ed. Bodmin Cornwall, UK. Blackwell Science. p. 152-153.
126. MORTENSEN, JL; and HIMES, FL. 1964. Soil organic matter. In "Chemistry of the Soil". 2 ed. F. E. BEAR (ed.). Reinhold Publishing Company. New York, USA. p. 206-241.
127. MUNSELL, AH. 2013. Munsell Soil Color Charts: With Genuine Munsell\* Color Chips. Munsell Color. New York, US. 29 p.
128. MUSGRAVE, GW. 1935. The Infiltration capacity of soils in relation to the control of surface runoff and erosion. Jour. Amer. Soc. Agron. 27: 336-345.
129. NAME, B; y VILLAREAL, J. 2004. Compendio de los resultados de investigación del programa de suelos del IDIAP: Estudio de suelos Ultisoles y Alfisoles realizados en las estaciones experimentales de Calabacito, Guarumal y Rio Hato. Panamá, PA, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 229 p.
130. NARRO, E. 2004. Física de suelos con enfoque agrícola. México, MX. Trillas. 195 p.
131. NEARING, MA; SIMANTON, JR; NORTON, LD; BULYGIN, SJ; and STONE, J. 1999. Soil erosion by surface water flow on a stony, semiarid hillslope. Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group 24(8): 677-686.
132. NOWAK, J; and FRIEND, A. 2005. Aluminum fractions in root tips of slash pine and loblolly pine families differing in Al resistance. Tree Physiol 25: 245-250.
133. POLO, LE. 2007. La producción de piña en Panamá: Aspectos ambientales. Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Politécnica Superior de Gandía y

Universidad de Panamá. Centro de Estudios de Recursos Biótico. Panamá. PA, Consultado 18 nov 2015. Disponible en: [https://burica.wordpress.com/2007/12/21/produccion-de-](https://burica.wordpress.com/2007/12/21/produccion-de-pina-en-panama-aspectos-ambientales/)

[pina-en-panama-aspectos-ambientales/](https://burica.wordpress.com/2007/12/21/produccion-de-pina-en-panama-aspectos-ambientales/)

134. PORTA, J; LÓPEZ-ACEVEDO, M; y ROQUERO, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3 ed. Madrid, ES. Mundi-Prensa. 960 p.

135. PULIDO, M; FLORES, B; RONDÓN, T; HERNÁNDEZ, R; y LOZANO, Z. 2010. Cambios en fracciones dinámicas de la materia orgánica de dos suelos, Inceptisol y Ultisol, por el uso con cultivo de cítricas. Bioagro 22(3): 201-210.

136. PUTTHACHAROEN, S; HOWELER, RH; JANTAWAT, S; and VICHUKIT, V. 1998. Nutrient uptake and soil erosion losses in cassava and six other crops in a Psamment in eastern Thailand. Field Crops Research 57: 113–126.

137. PY, C; LACOEUILHE, JJ; and TEISSON, C. 1987. The Pineapple: Cultivation and Uses. G-P edn. Maisonneuve, Paris, FR. 568 pp.

138. RAMOS, C. 2001. Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río Cañete y determinación del mapa de erosión. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima - Perú. 30 p.

139. RENARD, KG; FOSTER, GR; WEESIES, GA; MCCOOL, DK; and YODER, DC. 1997. Chapter 1. Introduction and history. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook 703. US Department of Agriculture. Tucson Arizona, USA. p. 329-332.

140. RENARD, KG; MEYER, LD; and FOSTER, GR. 1996. Chapter 1. Introduction and history. In: Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with

Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook 703. US Department of Agriculture. Tucson Arizona, USA. p. 1-18.

141. REYES, I. 2013. Una ojeada a la clasificación del suelo. *ContactoS* 91: 30–40.

142. REYNOLDS, WD., ELRICK, DE; and YOUNGS, EG. 2002. Single-ring and double- or concentric-ring infiltrometers. In: Dane, J., Topp, G. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 4: Physical Methods*. SSSA Book Series No. 5: 821–826.

143. RIQUIER, J. 1978. Report of an expert consultation on methodology for assessing soil degradation. FAO-UNEP Soil Bulletin No. 34. FAO. Roma, IT. Consultado 13 mayo. 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/018/ar114e/ar114e.pdf>

144. RIVERA, JH; y GÓMEZ, AA. 1991. Erosividad de las lluvias en la zona cafetalera central Colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). *Cenicafé* 42 (2): 37-52.

145. RIVERO, C; CHIRENJE, T; MA, L; and MARTÍNEZ, G. 2004. Influence of compost on soil organic matter quality under tropical conditions. *Geoderma* 123: 355-361.

146. ROCA, N; PAZOS, MS; y BECH, J. 2007. Disponibilidad de Cobre, Hierro, Manganeso, Zinc en suelos del NO Argentino. *Ciencia del Suelo (Argentina)* 25(1): 31-42.

147. RODRÍGUEZ, O. 1995. Barreras vivas y coberturas como alternativas de conservación en laderas. XIII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maracay, VE. Resúmenes. p. 63-64.

148. ROMERO-DÍAZ, A; MARÍN-SANLEANDRO, P; and ORTIZ-SILLA R. 2012. Loss of soil fertility estimated from sediment trapped in check dams. South-eastern Spain. *Catena* 99: 42–53.

149. ROONGTANAKIAT, N; TANGRUANGKIAT, S; and MEESAT, R. 2007. Utilization of Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides*) for Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewaters. Science Asia 33: 397- 403.
150. ROOSE, E. 1993. Agroforestry, water and soil fertility management in african tropical mountains. Conferencia en el Taller sobre procesos de erosión en tierras de altas pendientes. Mérida, VE. CIDIAT. 28 p.
151. SAKUMA, T; TOYOMITSU, Y; OGAWA, S; SATOH, M; MAITA, H; KIMURA, M; VUDHIVANICH, V; KWANYUEN, B; USABORISUT, P; and KUMLUNGKHENG, S. 2002. Soil Erosion in the pineapple fields in Ban Kha-Subdistrict. In Workshop on Watershed Degradation and Restoration of Lam Phachi River Basin. Bangkok Thailand. 7 p.
152. SÁNCHEZ, PA. 1981. Suelos del trópico. Características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura. Serie de libros y materiales educativos. No. 48. San José, CR. 660 p.
153. SCHERTZ, DL. 1983. The basis for soil loss tolerances. Journal of Soil and Water Conservation 38(1):10-14.
154. SCHICK, J; BERTOL, I; BALBINOT, AA; & BATISTELA, O. 2000. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. perdas de nutrientes e carbono orgânico. Revista Brasileira de Ciência do Solo 24: 437-447.
155. SCHMIDT, BL.; ALLMARAS, RR; MANNERING, IV; and PAPENDICK, RI. 1982. Determinants of soil loss tolerance. American Society of Agronomy - Soil Science Society of America. Madison, USA. 153 p.

156. SCHULZE, F. 1949. Anleitung zur Untersuchung der Ackererden auf ihre wichtigsten physikalischen Eigenschaften und Bestandteile. J. Prakt. Chem., 46: 241-8.
157. SEGANFREDO, ML; ELTZ, FLF; & BRUM, ACR. 1997. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em sistemas de culturas em plantio direto. R. Bras. Ci. Solo 21: 287-291.
158. SHAH, G; SHRI R; PANCHAL, V; SHARMA, N; SINGH, B; and MANN, AS. 2011. Scientific basis for therapeutic use of *Cymbopogon citratus* Stapf (Lemon grass). Journal of Advanced Pharmaceutical and Technological Research 2(1): 3-8.
159. SILVA, JA; HAMASAKI, R; PAULL, R; OGOSHI, R; BARTHOLOMEW DP; FUKUDA, S; HUE, NV; UEHARA, G; and TSUJI, GY. 2006. Lime, gypsum and basaltic dust effects on the calcium nutrition and fruit quality of pineapple. Acta Horticulturae 702:123-131.
160. SOIL SURVEY DIVISION STAFF. 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service. Revised Edition, U.S. Department of Agriculture Handbook 18. Natural Resources Conservation Service Soils. United States Department of Agriculture. Washington, DC; US. 315 p.
161. SOIL SURVEY STAFF. 2010. Claves para la Taxonomía de Suelos. Trad. CA Ortiz-Solorio, MC Gutiérrez-Castorena, EV Gutiérrez-Castorena. 11 ed. Montecillo, MX. United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. 359 p.
162. SOIL SURVEY STAFF. 2014. Kellogg Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Washington, DC; US. p. 464.

163. SPOSITO, G. 2008. The chemistry of soils. Oxford university press. New York, US. 234 p.
164. STEEL, R; TORRIE, J; and DICKEY, D. 1997. Principles and Procedures of Statistics a Biometrical Approach. Third Edition. McGraw Hill. New York, US. Series In Probability and Statistics. 633 p.
165. STRI (Smithsonian Tropical Research Institute, PA). 1999. La Cuenca del Canal: deforestación, urbanización y contaminación. Proyecto De Monitoreo De La Cuenca del Canal de Panamá. Sumario Ejecutivo del Informe Final. Balboa, PA. Smithsonian Tropical Research Institute. p. 57-82.
166. SWETE-KELLY, DE. 1993. Nutritional disorders. In: Broadley, RH, Wassman, RC. and Sinclair, ER. Pineapple Pests and Disorders. Department of Primary Industries, Brisbane, Queensland, AU. p. 33 –42.
167. TABATABAI, MA. 1996. Soil organic matter testing: an overview. pp. 1-9. In: F.R. Magdoff, M.A. Tabatabai, and E.A. Hanlon (Eds.). Soil organic matter: Analysis and interpretation. Special publication 46. Soil Science Society of America. Madison Wisconsin, USA.
168. TARR, AB; MOORE, KJ; BURRAS, CL; BULLOCK, DG; and DIXON, PM. 2005. Improving Map Accuracy of Soil Variables Using Soil Electrical Conductivity as a Covariate. Precision Agriculture 6: 255-270.
169. TÁVORA, MRP; SILVA, JCR; HERNANDEZ, FFF; SAUNDERS, LCU; & MOREIRA, EGS. 1985. Perdas de solo, água e nutrientes em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de Ubajara (CE). Revista brasileira de ciência do solo 9(1): 63-66.

170. TISDALE, S; and NELSON, W. 1991. Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes. Trad. J Balasch, C Piña. México DF, MX. LIMUSA. 759 p.
171. TRUONG, P; VAN, T; and PINNERS, E. 2008. Vetiver system applications. Technical Reference Manual. The Vetiver Network International. Vol. 107. 34 p.
172. TRUONG, P. 2000. Vetiver grass system: potential applications for soil and water conservation in Northern California. In Invited paper presented at the STIFF GRASS TECHNOLOGY Seminar, sponsored by the Yolo County Flood Control & Water Conservation District and Family Water Alliance at Woodland on Volume 9.
173. URRIOLA, D; GONZALES R; DEL CID, R; y AGUDO L. 2008. Determinación de los indicadores de erosión laminar de los suelos y caracterización de sus balance hídricos de la Cuenca del Río La Villa (cartel). Panamá, PA. IDIAP. 1 cartel (2 Cuadros).
174. USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica, US). 2000. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Departamento de Agricultura, Servicio de Investigación Agrícola, Servicio de Conservación de Recursos Naturales e Instituto de Calidad de Suelos. Trad. A Lutens, JC Salazar, L Plaza. Argentina, INTA. p. 59-62.
175. USDA (United States Department of Agriculture). 2010. Soil Survey Staff. Claves para la taxonomía de suelos. Trad. CA Ortiz, MC Gutiérrez, EV Gutiérrez. 11 ed. Washington DC, US. Natural Resources Conservation Services. 359 p.
176. USDA-NRCS (United States Department of Agriculture National Resources Conservation Service, US). 2004. Chapter 10: Estimation of direct runoff from storm rainfall. In Part 630: Hydrology: NRCS National Engineering Handbook. USDA.



Washington, DC; US. Consultado 24 mayo 2018. Disponible en [http://www.wsi.nrcs.usda.gov/products/W2Q/H&H/tech\\_refs/eng\\_Hbk/chap.html](http://www.wsi.nrcs.usda.gov/products/W2Q/H&H/tech_refs/eng_Hbk/chap.html).

177. VAN BEMMELEN, JM. 1890. Über die Bestimmung des Wassers, des Humus, des Schwefels, der in den colloïdalen silikaten gebundenen kieselsäure, des Mangans u.s.w. im Ackerboden. Die Landwirthschaftlichen Versuchs-Stationen 37: 279-290.

178. VILLAREAL, J; y NAME, B. 1996. Técnicas analíticas del laboratorio de Suelos del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Divisa, PA. IDIAP. 120 p.

179. VILLARREAL, JE; AGUDO, L; y VILLALAZ, J. 2010. Clasificación de suelos de Panamá y sus equivalencias. Panamá, PA. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. 1cartel.

180. VOLKE, T; VELASCO, JA; y DE LA ROSA PÉREZ, DA. 2005. Suelos Contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación, Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. México DF, MX. p. 11-17.

181. WALKLEY, A; and BLACK, IA. 1934. An examination of the Degtjareff method and a proposed modification of the chromic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.

182. WALLNÖFER, PR; & ENGELHARDT, G. 1995. Schadstoffe aus dem Boden. In: Hock, B. y E. Elstner (eds.). Schadwirkungen auf Pflanzen. Académica Spektrum. Berlín, DE. p 118-140.

183. WARRICK, A; and NIELSEN DR.1981. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel D. Practical Applications of Soil Physics: 319-344.

184. WEISS, EA. 1997. Essential oil crops: Wallingford, UK: CAB International 59–137.
185. WILCOX, BP. 1994. Runoff and erosion in intercanopy zones of pinyon-puniper woodlands. *J. Range Manage* no. 47: 285-295.
186. WILDING, LP; SMECK, NE; and HALL, GF. 1983. Pedogenesis and soil taxonomy: the soil orders. Amsterdam, NL. Elsevier Science Publishers .399 p.
187. WILLIAM, SJ; NEARING, M; NICKS, A; SKIDMORE, E; VALENTIN, C; KING, K; and SAVABI, R. 1996: Using soil erosion models for global change studies. *Journal of Soil and Water Conservation* 51 (5): 381-385.
188. WISCHMEIER, WH. 1959. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 23: 322–326.
189. WISCHMEIER, WH. 1976. Use and misuse of the Universal Soil Loss Equation. *Journal Soil and Water Conservation* 31:5 - 9.
190. WISCHMEIER, WH; and SMITH, DD. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses: a guide to conservation planning. Department of Agriculture. Agric. Handbook No. 537. USDA. Sci. and Educ. Admin. Washington, D.C, US. 58 p.
191. WISCHMEIER, WH; and SMITH, DD. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Trans. Am. Geophys. Union* 39 (2):285-291.
192. WOOD, PJ; y BURLEY J. 1995. Un árbol para todo propósito: introducción y evaluación de árboles de uso múltiple para agroforestería. Centro Internacional para Investigación y Agroforestería: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, CR. 180 p.

193. XUE H; NHAT, PH; GÄCHTER R; and HOODA, PS. 2003. The transport of Cu and Zn from agricultural soils to surface water in a small catchment. *Advances in Environmental Research* 8: 69 – 76.

